

2679 - 2240

**INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG**

**EINFLUSS DER EIGENBRANDLAST
AUF DAS BRANDVERHALTEN VON
BAUTEILEN AUS BRENNBAREN BAUSTOFFEN**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Kordina
Dr.-Ing. C. Meyer-Ottens
Dipl.-Ing. I. Noack

Heft 86 · BRAUNSCHWEIG · 1989

ISBN 3-89288-058-1
ISSN 0178-5796

z.F. R + T + (Fest. Baustoffe flammlos
Stahlbetonbau)

INHALTSVERZEICHNIS	SEITE
1 Einleitung	4
2 Ziel der Untersuchungen	9
3 Kleinbrandversuche	11
3.1 Übersicht über das Versuchsprogramm (Kleinbrandversuche)	11
3.2 Durchführung der Versuche	12
3.2.1 Abmessungen des Prüfofens, Ölbrenner	12
3.2.2 Meßebenen, Brandraumtemperaturen	12
3.2.3 Druck im Prüfofen	14
3.2.4 Ofenauskleidung	14
3.3 Öl-Verbrauch und -Steuerung, Brandgasanalysen	16
3.4 Versuchsergebnisse	17
3.4.1 Brandraumtemperaturen	17
3.4.2 Brandgasanalysen	19
3.4.3 Temperaturen in den Holzbauteilen	20
3.4.4 Ermittlung der Abbrandgeschwindigkeit B	21
3.4.5 Vergleich der Abbrandgeschwindigkeiten	23
4 Großversuche	27
4.1 Übersicht über das Versuchsprogramm (Großversuche)	27
4.2 Prüfung einer tragenden Holzstütze	27
4.2.1 Probekörper und Prüfungsdurchführung	27
4.2.2 Versuchsergebnisse	29
4.3 Prüfung einer tragenden, raumabschließenden Holzwand	31
4.3.1 Probekörper und Versuchsdurchführung	31
4.3.2 Versuchsergebnisse	33
4.4 Prüfung einer tragenden, nichtraumabschließenden Holzwand	34
4.4.1 Probekörper und Versuchsdurchführung	34
4.4.2 Versuchsergebnisse	35
5 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse aus Klein- und Großversuchen	36
6 Vergleich der Ergebnisse mit klassifizierten Bauteilen nach DIN 4102 Teil 4	38
7 Vergleich der Ergebnisse mit natürlichen Bränden	42
8 Vergleich der Ergebnisse mit Brandlasten n.DIN 4102 Teil 2	47
9 Ausblick	50
10 Literaturverzeichnis	54

Anhang

- Anlage 1.1 Versuchsaufbau, Lage der Meßebenen und Meßstellen, Vers. 1-10
- Anlage 1.2 Lage der Meßstellen (Spanplatten, Holzbohlen, Holzbalken)
- Anlage 2 Brandraumtemperaturen (Vers. 3, Meßst. 1-17)
- Anlage 3 Sauerstoff-Gehalt bei den Versuchen 1-10
- Anlage 4 Ölmengen-Verbrauch bei den Großversuchen

1 Einleitung

Bauteile, wie Stützen, Wände, Balken, Decken usw. werden zur Feststellung ihrer Feuerwiderstandsdauer und -klasse nach DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 1977, gemäß der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) - identisch der Standardkurve nach ISO 834 - einer bestimmten Temperaturzeitbeanspruchung unterzogen. Hinsichtlich der Brennbarkeit der in den Bauteilen verwendeten Baustoffe werden dabei keine Unterschiede gemacht, d.h.: Bauteile aus brennbaren wie aus nichtbrennbaren Baustoffen werden temperaturmäßig gleich beansprucht. Maßgebend dabei ist die Temperatur, die in 10 cm Abstand vom Prüfkörper gemessen wird.

Trotz gleicher Temperaturzeitbeanspruchung kann die Brennstoffmenge, die zur Erzeugung der Solltemperaturen zugeführt werden muß, d.h. die "Fremdbrandlast", sehr unterschiedlich sein. Bei Bauteilen aus brennbaren Baustoffen, insbesondere bei Wand- oder Deckenbekleidungen bzw. Bauteiloberflächen aus brennbaren Baustoffen ist die erforderliche "Fremdbrandlast" zur Erzeugung der ETK wegen der vorhandenen Eigenbrandlast wesentlich kleiner als bei Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen oder bei Bauteilen mit Wand- und Deckenbekleidungen aus nichtbrennbaren Baustoffen. Die jeweils vorhandene Brandlast setzt sich daher wie folgt zusammen:

$$\begin{aligned} \text{Brandlast } q_{\text{Gesamt}} &= \text{Fremdbrandlast} + \text{Eigenbrandlast} \\ \text{Eigenbrandlast} &= \text{Brandlast aus brennbaren Bauteilen} + \text{Brandlast} \\ &\quad \text{aus brennbaren Wand- und Deckenbekleidungen} \\ &\quad \text{(Bauteiloberflächen)} \end{aligned}$$

Beispielsweise gehört bei Holzdecken in Tafelbauart die untere brennbare Schicht - meist Spanplatten - zur Konstruktion; ggf. nimmt diese Schicht Zugspannungen auf. Bei Holzbalkendecken, bei denen die Holzbalken durch eine brennbare Schicht verdeckt werden - meist durch Profilbretter, aber auch durch Spanplatten o.ä. -, liegt eine Bekleidung vor. Sie gehört nicht zur eigentlichen, tragenden Konstruktion und nimmt auch keine Spannungen auf. Der äußere Anblick und die Brandwirkung sind jedoch jeweils gleich. Die Differenzierung, welchem Zweck solche Schichten dienen, ist schwierig. Deshalb wurde bei der zweiten Gleichung das Wort "Bauteiloberflächen" in Klammern gesetzt.

Bei einer Holzbalkendecke, bei der die Holzbalken nicht verdeckt werden, ist die dem Feuer zugekehrte Bauteiloberfläche größer als bei einer Decke in Tafelbauart. Die schon optisch unterschiedliche Decke besitzt auch ein anderes Abbrandverhalten, weil die tragende Konstruktion vom Brandbeginn an angegriffen wird.

Bei einer Stahlbetondecke mit einer Bekleidung aus Holz oder Holzwerkstoffen wird die Deckenkonstruktion im Gegensatz zur Holz- und Holzbalkendecke anfangs geschützt. Die Erwärmung der Decke erfolgt zunächst langsamer [2], [4], [9]. Der Raum unterhalb der Bekleidung erfährt allerdings in einem solchen Fall einen intensiveren Brandverlauf. Die Beeinflussung des Brandes im Raum ist ähnlich intensiv wie bei einer Holz- oder Holzbalkendecke. Eine in einem entsprechenden Raum stehende unbedeckte Stahl- oder Stahlbeton-Stütze würde brandmäßig stärker beansprucht - anders als in einem Raum, der keine Holz-Decke oder -Bekleidung aufweist.

Weicht man von den vorgeschriebenen Prüfbestimmungen nach DIN 4102 Teil 2 (1977) bzw. ISO 834 ab und beansprucht ein Bauteil aus brennbaren Baustoffen in Verbindung mit einer bestimmten, in der Praxis vorliegenden Fremdbrandlast, so kann sich unter ungünstigen Umständen bei derartigen Bauteilen eine niedrigere Feuerwiderstandsdauer als unter Normbrandbedingungen (ETK) ergeben. Wählt man bei der Prüfung von Bauteilen eine Fremdbrandlast in der Größe, wie sie zur Erzeugung der ETK bei der Prüfung von entsprechenden Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen ohne den Einfluß brennbarer Wand- bzw. Deckenbekleidung erforderlich ist, so erhält man infolge der zusätzlich vorhandenen Eigenbrandlast bei einem ventilationsgesteuerten Brand eine über der ETK liegende Temperaturzeitbeanspruchung, d.h. bei Holzbauteilen, eine größere Abbrandgeschwindigkeit. Bei Stahlbeton- und Stahlbauteilen führt eine z.B. durch brennbare Bekleidungen (Bauteiloberflächen) über die ETK hinausgehende Temperaturzeitbeanspruchung in der Praxis zu einer schnelleren Durchwärmung.

Generell kann festgestellt werden, daß unter **ungünstigen** Bedingungen

- z.B. Auskleidung von Räumen mit brennbaren Bekleidungen (Bauteiloberflächen) und
- optimalen Ventilationsbedingungen

die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen gegenüber der Normbrandbeanspruchung (ETK) deutlich reduziert werden kann, was für alle Bauteile (Beton-, Stahlbeton-, Spannbetonbauteile, Stahlbauteile, Verbundbauteile und Holzbauteile) gilt.

Diese Erfahrung ist nicht neu! Sie wurde u.a. bereits 1969 beschrieben [1], im Zuge der Schaffung von einheitlichen technischen Baubestimmungen und Baugesetzen (Landesbauordnungen) aber nicht weiter verfolgt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch die Intensität der ETK-Beflammung etwa 90 % aller natürlichen Brände abgedeckt sind. Durch eine lokale Eigenbrandlast ist somit im allgemeinen keine gravierende Erhöhung eines Risikos festzustellen.

Dem internationalen Trend folgend, wurden im nationalen Bereich die historisch gewachsenen Prüfbestimmungen vereinheitlicht; d.h.: In DIN 4102 Teil 2 (Ausgaben 1970 und 1977) wurde die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) entsprechend ISO 834 für die Prüfung aller Bauteile festgelegt.

An Hand von Versuchen mit Holzbauteilen und Wand- bzw. Deckenbekleidungen (Bauteiloberflächen) aus brennbaren Baustoffen (Spanplatten und Fichtenholz) lassen sich jedoch die Einflüsse der Eigenbrandlast deutlich aufzeigen. Da in [1] und [3] experimentelle Erfahrungen vorlagen, wurden im Rahmen der im folgenden beschriebenen Untersuchungen Holz und Holzwerkstoffe verwendet.

Betrachtet man beispielsweise die Abbrandgeschwindigkeit von Holz, die die Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen maßgebend beeinflusst, so ergeben sich analog zu den vorstehenden Ausführungen folgende Zusammenhänge:

Nach nationalen und internationalen Prüferfahrungen mit üblichen Prüföfen für die Prüfung von Bauteilen beträgt die Abbrandgeschwindigkeit von Nadelholz ohne Berücksichtigung eines Verformungseinflusses bei ETK-Bearbeitung im Mittel 0,65 bis 0,70 mm/min [2]. In Extremfällen wurden auch Abbrandraten von 0,50 bis 0,80 mm/min festgestellt, wobei die Holzparameter Rohdichte, Feuchtigkeitsgehalt, Porigkeit, Porenverteilung usw. von Einfluß waren. Bei Berücksichtigung eines Verformungseinflusses (z.B. Durchbiegung) kann die Abbrandgeschwindigkeit durch Aufreißen und Abspalten von Holzfasern auf 1,10 mm/min ansteigen [2]. Um Streuungen zu erfassen, wurden in der Bundesrepublik Deutschland in Übereinstimmung mit zahlreichen Bauteilprüfergebnissen die in Bild 1 zusammengestellten Abbrandgeschwindigkeiten als Rechenwerte festgelegt; sie wurden auch für die Aufstellung von DIN 4102 Teil 4 (3/1981) zugrundegelegt, [2] und [4].

Bauteil aus europ. Nadelholz bei Brandbeanspruchung nach DIN 4102 Teil 2 (Offenfeuerbeanspruchung in Öfen)		Abbrand- geschwindigkeit β [mm/min]
Stützen und Zuglieder	alle Seiten	0,7
Balken	Seiten u. Oberseite	0,8
	Unterseite	1,1
Dach- und Deckenschalungen	Unterseite	1,1
	Oberseite	0,65

Bild 1
Rechenwerte der Abbrandgeschwindigkeit von Nadelholz bei Brandbeanspruchung n. DIN 4102 Teil 2 (9/1977) mit der ETK

Betrachtet man dagegen natürliche Brände, stellen sich im Gegensatz zu ETK-gesteuerten Ofenbränden in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern andere Abbrandgeschwindigkeiten und damit andere Feuerwiderstandsdauern ein. Nach Sven Hadvig [3] liegt die Abbrandgeschwindigkeit von Nadelholz ohne Verformungseinfluß in Abhängigkeit vom weltweit verwendeten Öffnungsfaktor $A/h/A_t$ (vgl. Abschnitt 7)

- bei Holzbränden zwischen 0,4 und 1,15 mm/min und
- bei Kunststoffbränden unter Verwendung von Polyethylen zwischen 0,5 und 1,8 mm/min,

vgl. Bilder 2 und 3. Ein vereinfachter Vergleich der Bilder 1 bis 3 ist in Bild 4 wiedergegeben.

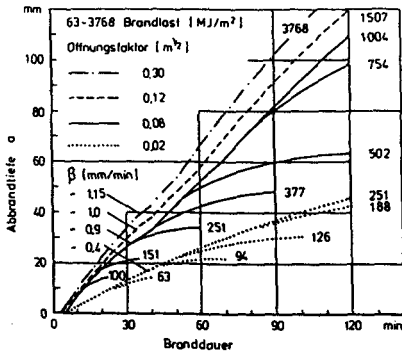


Bild 2
Abbrandtiefe a als Funktion von Brandlast und Öffnungsfaktor in Abhängigkeit von der Branddauer bei Holzbränden nach Sven Hadvig [3]

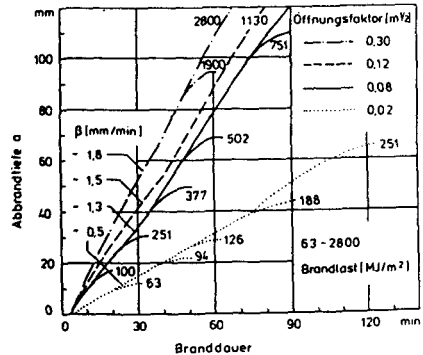


Bild 3
Abbrandtiefe a als Funktion von Brandlast und Öffnungsfaktor in Abhängigkeit von der Branddauer bei Kunststoffbränden (Polyethylen) nach Sven Hadvig [3]

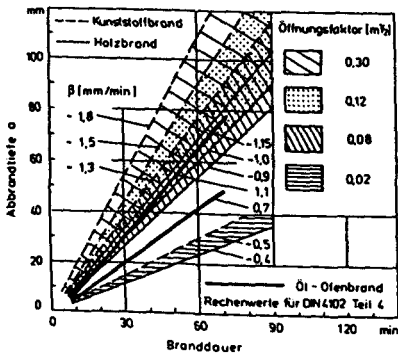


Bild 4:
Abbrandtiefe a und -geschwindigkeit β von Nadelholz bei verschiedenen natürlichen Bränden [Kunststoffbrände (Polyethylen) mit $\beta \approx 0,5$ bis $1,8$ mm/min und Holzbrände mit $\beta \approx 0,4$ bis $1,15$ mm/min] im Vergleich zum Normbrand (Öl-Ofenbrand) nach DIN 4102 Teil 2 und Teil 4 ($\beta = 0,7$ bis $1,1$ mm/min)

Zu den Bildern 2 bis 4 ist zu bemerken, daß die maximale Abbrandtiefe a je nach Brandlast und Öffnungsfaktor zu einem bestimmten Zeitpunkt t jeweils erreicht ist und dann nicht mehr fortschreitet, weil der Brand ausgeht.

Der Einfluß einer gegenüber Bild 1 vergrößerten Abbrandgeschwindigkeit auf die Feuerwiderstandsdauer von Holzstützen wurde beispielhaft in [4] behandelt. Danach konnte gezeigt werden, daß die Feuerwiderstandsdauer

von Holzstützen um rd. 50 % abnimmt, wenn die Abbrandgeschwindigkeit von 0,7 mm/min (vgl. Bild 1) um rd. 40 % auf nur 1,0 mm/min (vgl. Bilder 2 und 3) angehoben wird.

Wie aus den vorstehend aufgeführten Prüferfahrungen bekannt ist, wird die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen in einem üblichen Prüfofen für die Prüfung von Bauteilen von verschiedenen Einflußgrößen, insbesondere durch die Brennstoffzufuhr (Fremdbrandlast), verändert. Bei Verwendung einer Fremdbrandlast, die zur Erzeugung der ETK bei der Prüfung einer Stahlbetonwand erforderlich ist, steigt die Abbrandgeschwindigkeit um ≥ 50 %, die Feuerwiderstandsdauer sinkt dabei um mehr als die Hälfte!

Die vorstehend geschilderten Fakten erschienen aus verschiedenen Gründen [4] und [6] überprüfungswürdig, so daß weitere Untersuchungen, die finanziell von der Massivbauseite unterstützt wurden, als notwendig angesehen wurden; hierüber wird im folgenden berichtet.

2 Ziel der Untersuchungen

Um das Ziel der Untersuchungen, den Einfluß der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen zu ermitteln, mit den zur Verfügung stehenden begrenzten Mitteln zu erreichen, wurden in einem 1. Untersuchungsschritt Kleinversuche in einem Kleinprüfstand ähnlich DIN 4102 Teil 8 - zum Teil mit Wand-, Decken- und Bodenbekleidungen aus brennbaren Baustoffen (vgl. Bild 5 sowie Abschnitt 3.2.4.2) - durchgeführt. Dabei war es im einzelnen das Ziel der Untersuchungen,

- den im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig vorhandenen Kleinprüfstand brandschutztechnisch auszumessen und
- in diesem Kleinprüfstand die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen als Funktion der Brennstoffzufuhr (Fremdbrandlast) zu ermitteln sowie
- die festgestellten Abbrandgeschwindigkeiten mit bekannten Abbrandgeschwindigkeiten aus Großversuchen zu vergleichen.

In einem 2. Untersuchungsschritt (Abschnitt 4) wurden Großversuche mit Stützen ohne Wand- bzw. Deckenbekleidungen aus brennbaren Baustoffen und Großversuche mit Wänden mit brennbarer Bauteiloberfläche durchgeführt. Dabei wurde die Feuerwiderstandsdauer, ebenfalls in Abhängigkeit von der Brennstoffzufuhr (Fremdbrandlast), untersucht. Im einzelnen wurden geprüft:

- Eine tragende brett-schichtverleimte Holzstütze
- eine tragende raumabschließende Wand aus Holztafeln, die als Wohnungstrennwand zum Einsatz kommen kann, und
- eine tragende nichtraumabschließende Wand aus Holztafeln, die als tragende Innenwand verwendet werden kann.

Die vorstehend aufgezählten Bauteile wurden in üblichen Bauteilprüfständen untersucht, wobei als Brennstoffzufuhr jeweils jene Fremdbrandlast gewählt wurde, die notwendig ist, um bei vergleichbaren Stahlbetonbauteilen die ETK zu erzeugen.

Ziel der Versuche war es auch, zu einer objektiven Abklärung der Einflüsse einer Eigenbrandlast beizutragen; da zur Zeit die Diskussion über

- die Vornorm DIN 18 230 (c-Wert, Eigenbrandlast, kleine/große Räume),
- die europäischen Vorschriften über die Brandprüfungen von Bauteilen und
- Arbeiten an den Eurocodes im Hinblick auf den harmonisierten Binnenmarkt ab 1992/93

intensiviert wird, sollte zu diesen Punkten ebenfalls ein Beitrag gegeben werden.

Die Versuche dienten nicht dem Nachweis einer sich minutiös ergebenden Feuerwiderstandsdauer, sondern sollten die Tendenz und die komplex miteinander verquickten Zusammenhänge veranschaulichen.

3 Kleinbrandversuche

3.1 Übersicht über das Versuchsprogramm (Kleinbrandversuche)

Im folgenden wird eine Übersicht über das Versuchsprogramm der Kleinbrandversuche gegeben. Der Untersuchungsumfang zu den Großversuchen ist aus Abschnitt 4 ersichtlich.

Für das brandschutztechnische Ausmessen eines Kleinprüfstandes und zur Bestimmung der Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von der Brennstoffzufuhr (Fremdbrandlast) wurden insgesamt 13 orientierende Kleinversuche durchgeführt. Eine Übersicht über das Versuchsprogramm enthält Bild 5.

Bild 5 Übersicht über das Versuchsprogramm der orientierenden Kleinversuche (Großversuche siehe Abschnitt 4)

Ver- such- Nr.	01-Brennstoffzufuhr (Fremdbrandlast)	Einbau von Holzbauteilen bzw. -bekleidungen (Eigenbrandlast)	Q/V^4 m^{-1}	Meßebene für die Tempera- tur-Steuerung	Brandraumtem- peraturen 1)
1	$q_{1.1}$	-	0	unten	ETK
2	$q_{1.2}$	-	0	Mitte	ETK
3	$q_{1.3}$	-	0	oben	ETK
4	q_2	-	0	oben	Hdc > ETK
5	q_2	-	0	oben	Hdc > ETK
6	q_0 3)	Spanplatten	3,65	oben	> ETK
7	q_0 3)	Spanplatten	3,65	oben	> ETK
8	$q_{1.3}$	Spanplatten	3,65	oben	> ETK
9	q_2	Spanplatten	3,65	oben	≥ Hdc
10	q_2	Spanplatten	3,65	oben	≥ Hdc
11	$q_{1.3}$	Balken	0,64	oben	~ ETK
12	$q_{1.3}$	Balken + Spanplatten 2)	3,69	oben	> ETK
13	q_0 3)	Balken + Spanplatten 2)	3,69	oben	> ETK
1) ETK = Einheitstemperaturzeitkurve } Hdc = Hydrocarbonkurve } vgl. Abschnitt 3.2.2 2) In Teilbereichen wurden anstelle der Spanplatten Holzbohlen verwendet, vgl. Abschnitt 3.2.4.2 3) Erläuterungen zu q_0 siehe Abschnitt 3.3 4) Oberfläche der brennbaren Baustoffe zum Brandraum-Volumen					

Die Versuche 1 bis 3 dienten zur Bestimmung der Brennstoffzufuhr, die notwendig ist, um im vorhandenen Kleinprüfstand in verschiedenen Meßebenen die ETK zu erzeugen.

Die Versuche 4 und 5 dienten zur Bestimmung der Brennstoffzufuhr, die notwendig ist, um in der obersten Meßebene die Hydrocarbon-Temperatur-Zeitbeanspruchung zu erzeugen, eine Beanspruchung, die im internationalen Bereich zur Beurteilung von Ölbränden sowie im nationalen Bereich gelegentlich zur Klärung von Fragen des Objektschutzes verwendet wird und die höhere Temperaturen als die ETK aufweist.

Die Versuche 6 bis 13 dienten zur Bestimmung der Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von der Brennstoffzufuhr, insbesondere wie sie in den Versuchen 1 bis 5 ermittelt wurde.

3.2 Durchführung der Versuche

3.2.1 Abmessungen des Prüfofens, Ölbrenner

Der für die Kleinversuche verwendete Prüfstand hatte eine Grundfläche von $B \times L = 100 \text{ cm} \times 150 \text{ cm}$ und eine Höhe von $H = 150 \text{ cm}$. An der Vorderseite waren 2 Ölbrenner angeordnet. Die Brennerachsen lagen 83 cm oberhalb des Fußbodens und damit 67 cm unterhalb der Ofendecke; der Abstand der Brennerachsen zu den Seitenwänden betrug $e = 20 \text{ cm}$, vgl. DIN 4102 Teil 8. An der Hinterseite - den Brennern gegenüberliegend - waren zwei Abzugsöffnungen angeordnet. Der Prüfstand ist in Anlage 1.1 dargestellt.

Als Ölbrenner kamen Ölzerstäubungsbrenner nach dem Prinzip der Ölzerstäubung durch Druckluft gemäß DIN 4787 der Firma Körting, Hannover, zum Einsatz.

3.2.2 Meßebenen, Brandraumtemperaturen

Die Brandraumtemperaturen wurden in drei Meßebenen gesteuert bzw. registriert:

- Untere Meßebene: 15 cm oberhalb des Brandraumfußbodens,
jeweils 7 Meßstellen,
- Mittlere Meßebene: 22,5 cm oberhalb der Brennerachsen,
jeweils 3 Meßstellen in der Mitte der Ofenlängsachse;
2 dieser Meßstellen entsprachen annähernd den Meß-
stellen, wie sie in DIN 4102 Teil 8 festgelegt sind,
- Obere Meßebene: 15 cm unterhalb der Brandraumdecke,
jeweils 7 Meßstellen.

Bei den Versuchen 11 bis 13 wurde die Lage der Meßstellen der oberen Meßebenen geringfügig variiert, um 30 cm hohe Holzbalken einbauen zu können. Die in Abschnitt 3.2.1 beschriebene Brandraumhöhe $H = 150$ cm wurde bei diesen Versuchen beibehalten; der Holzbalken wurde durch Ausblatten in den Ofen eingehängt, so daß das ursprüngliche Ofenvolumen von $V = 2,25 \text{ m}^3$ etwas verkleinert wurde.

Bei den Versuchen 6 bis 13 wurden entsprechend den Angaben von Abschnitt 3.2.4.2 Spanplatten bzw. Holzbohlen von 5 cm Dicke eingebaut. Der Abstand der Brandraum-Temperaturmeßstellen zur "Bauteiloberfläche" betrug bei diesen Prüfungen bei Prüfbeginn entsprechend DIN 4102 Teil 2 damit jeweils 10 cm. - Die verwendeten Thermoelemente entsprachen DIN 4102 Teil 2.

Als Brandraumtemperaturzeitkurven wurden verwendet:

- ETK = Einheitstemperaturzeitkurve entsprechend DIN 4102 Teil 2,
- Hdc = Hydrocarbon-Temperaturzeitkurve entsprechend
 - a) Linde Spezifikation S - SD 153 bzw.
 - b) Norwegian Petroleum Directorate 1981 (NPD) bzw.
 - c) Nordtest method, NT Fire 021.
 Die Hdc stellt eine Kurve für mögliche höhere Beanspruchungen dar.

Die Hdc-Kurven der Punkte a) bis c) weichen nur unwesentlich voneinander ab. Der Temperaturzeitverlauf soll nach [5], ggf. in eine Neufassung von ISO 834 bzw. CEN bzw. DIN 4102 als Kurve für Sonderbeanspruchungen aufgenommen werden.

Die vorstehend beschriebenen Temperaturzeitkurven sind in Bild 6 dargestellt.

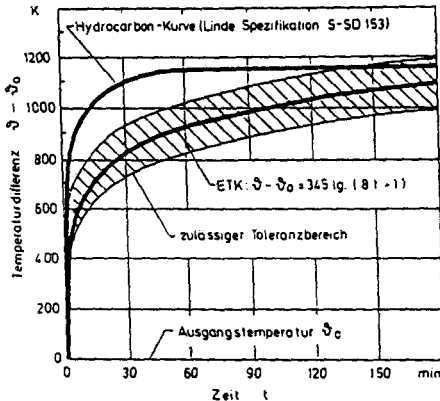


Bild 6
Brandraum-Temperaturzeitkurven
ETK und Hdc

3.2.3 Druck im Prüfofen

Die Versuche wurden so durchgeführt, daß der Überdruck im Brandraum - jeweils in Höhe der oberen Temperaturmeßebene gemessen - bei allen Versuchen entsprechend DIN 4102 Teil 2 im Bereich von (10 ± 2) Pa lag.

3.2.4 Ofenauskleidung

3.2.4.1 Schamottemauerwerk, Gasbeton-Decke

Der Versuchsofen bestand aus Schamottemauerwerk; in einigen Teilbereichen war Feuerbeton vorhanden. Als Ofenabdeckung wurde eine Decke aus Gasbetonplatten in 10 cm Dicke der Festigkeitsklasse GB 4,4 DIN 4223 verwendet. Die Ofenauskleidung erfüllt damit die Anforderungen, wie sie nach ISO 834 - Neufassung [5] - und nach DIN 4102 Teil 8 gestellt werden.

3.2.4.2 Spanplatten, Holzbohlen und Holzbalken; Holztemperaturen

Bei den Versuchen 6 bis 10 wurden die Ofenlängsseiten sowie der Decken- und Bodenbereich mit Spanplatten nach DIN 68 763 ausgekleidet. Es wurden

jeweils 2 x 25 mm dicke Platten verwendet, die miteinander verdübelt wurden.

Bei den Versuchen 11 bis 13 wurde in der Ofenlängsachse im Deckenbereich jeweils ein Balken $b/h = 300 \text{ mm}/300 \text{ mm}$ aus brett-schichtverleimtem Nadelholz im unbelasteten Zustand angeordnet. Die seitlich freiliegenden Deckenflächen von jeweils 35 cm Breite wurden bei Versuch 11 mit Gasbetonplatten so abgedeckt, daß der Balken dreiseitig beflammt wurde; im übrigen blieb der Ofen frei von brennbarer Auskleidung. Bei den Versuchen 12 und 13 wurden die Ofenwände dagegen wie bei den Versuchen 6 bis 10 zusätzlich zur Anordnung der Balken ausgekleidet; im verbleibenden Deckenbereich sowie bei einer Längsseite wurden anstelle der 2 x 25 = 50 mm dicken Spanplatten 50 mm dicke Holzbohlen aus Fichtenholz angeordnet.

Die Rohdichte der Spanplatten lag zwischen 660 kg/m^3 und 680 kg/m^3 , die des Fichtenholzes im Mittel bei 470 kg/m^3 . Der Feuchtigkeitsgehalt schwankte zwischen 9 und 12 Gew.-%.

In den Balken wurden durch von oben angebrachte Bohrlöcher im mittleren Balkenbereich drei Meßketten von Thermoelementen

- an der rechten Seite,
- an der linken Seite und
- an der Balkenunterseite

so angeordnet, daß die Holztemperaturen in Abständen von 10 mm bis zu einer Tiefe von 80 mm gemessen werden konnten, vgl. Anlage 1.2.

Bei den Spanplatten und Holzbohlen wurden die "Holztemperaturen" in Abständen von 5 mm in ganzer Bekleidungsstärke gemessen. Die Meßstellen - durch Bohrlöcher von außen angebracht - lagen in einem 100 mm x 100 mm großen Bereich in den Seitenauskleidungen in Höhe der mittleren Ebene der Brandraumtemperaturmeßstellen, d.h. 22,5 cm oberhalb der Brennerachsen in der Mitte der Längsseiten, vgl. Anlage 1.1 und 1.2.

3.3 Öl-Verbrauch und -Steuerung, Brandgasanalysen

Bei den Versuchen 1 bis 3 wurde die Brennstoffzufuhr q (leichtes Heizöl entsprechend den Angaben von DIN 4102 Teil 2) so geregelt, daß in den Meßebenen - vgl. Abschnitt 3.2.2 - jeweils die ETK erzeugt wurde. Dazu waren bei Steuerung nach der

- unteren Meßebene $q_{1.1} \approx 0,76 \text{ l/min}$,
- mittleren Meßebene $q_{1.2} \approx 0,39 \text{ l/min}$ und nach der
- oberen Meßebene $q_{1.3} \approx 0,4 \text{ l/min}$

Ölzufuhr erforderlich. Da im vorhandenen Kleinprüfstand häufig Deckenbauteile geprüft werden und da die Brennstoffzufuhr zur Steuerung der ETK zwischen mittlerer und oberer Meßebene keine bedeutenden Unterschiede zeigte, wurde festgelegt, bei den Versuchen 8, 11 und 12 als Fremdbrandlast die Ölzufuhr $q_{1.3}$ zu verwenden, vgl. Bild 5.

Bei den Versuchen 4 und 5 wurde zur Erzeugung der Hydrocarbon-Temperaturzeitkurve in der oberen Meßebene eine Ölzufuhr von $q_2 \approx 2 \text{ l/min}$, d.h. die fünffache Menge von $q_{1.3}$ erforderlich.

Bei den Versuchen 6, 7 und 13 (Versuche mit brennbarer Auskleidung, vgl. Bild 5) war angestrebt worden, die ETK zu erzeugen. Nach einem Ölverbrauch $q_0 \approx 0,2 \text{ l/min}$ in den ersten 10 Versuchsminuten erfolgte der Abbrand der Auskleidung so rasant, daß

- die Ölbrenner ganz abgeschaltet werden mußten und
- die Brandraumtemperaturen trotz abgeschalteter Ölzufuhr außer Kontrolle gerieten ($T > T_{ETK}$).

Erst nach dem Abbrand der Haupt-Eigenbrandlast ($t \approx 40 \text{ min}$) wurden die Brenner neu gezündet; zur Erzeugung der ETK waren dann $q_{1.3} \approx 0,4 \text{ l/min}$ erforderlich.

Der Ölmengen-Verbrauch (Fremdbrandlast) ist in Bild 7 schematisch dargestellt.

Während der Versuche 1 bis 10 wurden Brandgasanalysen durchgeführt. Dabei wurden in der mittleren Meßebene in Brandraummitte der

- O_2 -Gehalt,
 - CO_2 -Gehalt und der
 - CO -Gehalt
- gemessen.

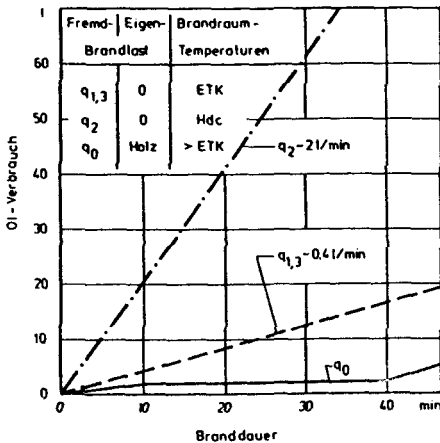


Bild 7
 Öl-Verbrauch bzw. Öl-
 Brennstoffzufuhr $q_{1,3}$,
 q_2 und q_0
 (Fremdbrandlast)

3.4 Versuchsergebnisse

3.4.1 Brandraumtemperaturen

Bei den Versuchen 1 bis 3 ohne Eigenbrandlast folgte der Temperaturverlauf wie beabsichtigt der ETK - siehe Anlage 2, rote Kurven (Versuch 3). Auch bei Versuch 11 mit der relativ geringen Eigenbrandlast eines Holzbalkens (Versuch ohne Bekleidungen aus brennbaren Baustoffen) wurde bei dem vorgegebenen Ölverbrauch $q_{1,3}$ die ETK erzeugt; die Brandraumtemperaturen stiegen nicht wesentlich über die ETK an. Bei den Versuchen 4 und 5 ohne Eigenbrandlast folgte der Temperaturzeitverlauf wie beabsichtigt der Hydrocarbonkurve.

Bei den Versuchen 6 bis 10 und 12 bis 13 mit großer Eigenbrandlast ergaben sich im Vergleich hierzu folgende Temperaturzeitverläufe (Bild 8):

Bei den Versuchen 6 und 7 mit der sehr kleinen Fremdbrandlast q_0 und bei Versuch 8 mit der "üblichen" Fremdbrandlast $q_{1.3}$ ergaben sich hinsichtlich der Brandraumtemperaturen nur unbedeutende Unterschiede. Die Brandraumtemperaturen waren insgesamt - besonders anfänglich - wesentlich größer als die Temperaturen der ETK. Sie lagen in den ersten 20 Minuten nahe der Hdc, sanken nach dem Abfallen von Spanplattenteilen der ersten Schicht auf die Temperaturen der ETK ab und stiegen nach dem Weiterbrennen der zweiten Spanplattenschicht wieder an. Nach dem Abfallen der gesamten restlichen Spanplatten trat ein Temperatureinbruch bis $T \approx 300^\circ\text{C}$ auf, der aber innerhalb von rd. 3 bis 5 Minuten wieder ausgeglichen wurde. Die Temperaturen stiegen infolge des auf dem Brandraumboden liegenden Gluthaufens und der Fremdbrandlast $q_{1.3}$ danach wieder über die ETK an, blieben aber im wesentlichen im Toleranzbereich der ETK.

Bei den Versuchen 12 und 13, bei denen nur eine Seite und der Boden aus zusammengesetzten Spanplatten bestanden - die anderen Seiten bestanden aus "ungeteiltem" Fichtenholz - waren das erste Absinken der Temperaturen und der Temperatureinbruch wesentlich schwächer ausgebildet. Die

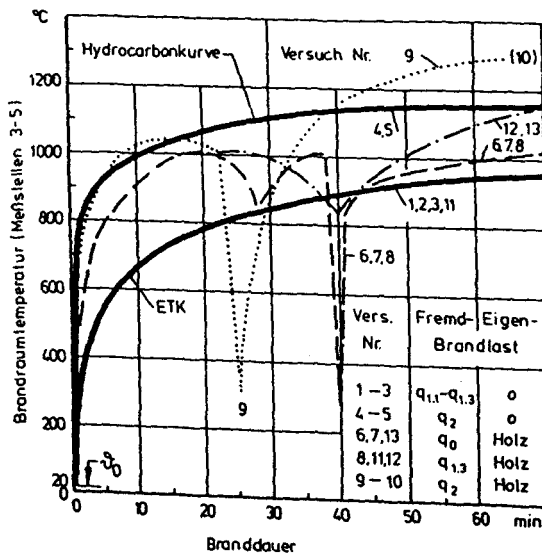


Bild 8
Brandraumtemperaturen bei den Versuchen 1 bis 13 mit q_0 , $q_{1.3}$ und q_2

Temperaturen - ansteigend bis in den Bereich der Hdc - sanken beim Zusammenbruch der Bekleidung nur auf die ETK ab und stiegen danach infolge des weiterbrennenden massigen Holzbalkens bis auf die Temperaturen der Hdc wieder an.

Bei Versuch 9 mit der großen Fremdbrandlast q_2 folgten die Temperaturen nahezu der Hdc. Mit dem Zusammenbruch der gesamten Spanplattenbekleidung fand auch hier ein Temperatureinbruch statt ($T \rightarrow 300\text{ °C}$), der jedoch infolge des schnelleren Abbrandes rd. 15 Minuten früher auftrat als bei den Versuchen 6 bis 8. Nach dem Zusammenbruch der Spanplatten stiegen die Temperaturen weit über die Hdc an und erreichten rd. 1.300 °C .

Bei Versuch 10, der als Wiederholungsversuch zu Versuch 9 geplant war, wurde im Zeitbereich von 10 bis 30 Minuten bei konstanter Fremdbrandlast q_2 der Sauerstoffgehalt im Ofen durch Frischluftzufuhr gesteigert. Dadurch sanken die Temperaturen und erreichten nicht die Hdc. Der Zusammenbruch der Spanplatten und der Temperatureinbruch traten rd. 5 Minuten später auf. Nach Drosselung der Frischluftzufuhr auf das Maß wie bei Versuch 9 stiegen die Temperaturen wieder über die Hdc an und erreichten auch hier rd. 1.300 °C .

Der Mittelwert der Temperaturen der Meßstellen 3 - 5 in Ofenmitte in der oberen Meßebene ist im Prinzip in Bild 8 dargestellt.

3.4.2 Brandgasanalysen

Während der Versuche sank der Sauerstoffgehalt von 21 %

- bei Vers. 1 - 3 (q_1 ohne Holz) auf Werte von 2 % bis 6 %,
(Das entspricht praktisch den Vorgaben von ISO 834 [5] und ist identisch mit den Bestimmungen, die für Prüföfen für übliche Bauteile (Wände, Decken, Stützen usw.) gelten.)
- bei Vers. 4 - 5 (q_2 ohne Holz) auf Werte von 1 % bis 2 %,
- bei Vers. 6 - 7 (q_0 mit Holz) auf Werte von rd. 2 %,
- bei Vers. 8 ($q_{1.3}$ mit Holz) auf Werte von rd. 1 % und
- bei Vers. 9 - 10 (q_2 mit Holz) auf Werte von 3 % bis 4 %,

wobei bei Versuch 10 der Sauerstoffgehalt zwischen der 10. und 30. Minute durch Frischluftzufuhr bewußt auf rd. 12 % angehoben wurde, vgl. Anlage 3.

Der CO₂-Gehalt stieg mit sinkendem O₂-Gehalt je nach Versuchsdauer und Brandgeschehen auf Werte zwischen 8 % und 24 %. Der CO-Gehalt lag bei den Versuchen ohne Eigenbrandlast bei 0 und bei den Versuchen mit Eigenbrandlast je nach Versuchsdauer und Brandgeschehen zwischen 0,4 % und rd. 1,0 %.

Es ist anzunehmen, daß bei den Versuchen 11 bis 13, bei denen keine Brandgasanalysen durchgeführt wurden, ähnliche Werte vorlagen.

3.4.3 Temperaturen in den Holzbauteilen

Die Temperaturen in den Holzbauteilen - d.h.

- in den Spanplatten bzw. Fichtenholzbohlen (Vers. 6-10 u. 12-13) sowie
- in den Holzbalken (Vers. 11-13)

wurden an zahlreichen Stellen gemessen, vgl. Abschnitt 3.2.4.2. Die Holztemperaturen in Abhängigkeit von der Branddauer sind beispielhaft in Bild 9 dargestellt. Die dort abgebildete Kurve ① zeigt bei etwa 100 °C einen Haltepunkt, der durch die Holzfeuchte verursacht wurde. Er war meist schwach ausgebildet und verlief in der Regel über eine Zeitdauer von < 10 Minuten. Die als Beispiel abgebildete Kurve ② zeigt einen Temperaturzeitverlauf ohne ausgeprägten Haltepunkt.

Nach dem Abbrand der Holzschichten bis zur jeweiligen Temperaturmeßstelle erfolgte eine Temperaturangleichung an die jeweilige Brandraumtemperatur, die in Bild 9 nur schematisch dargestellt ist.

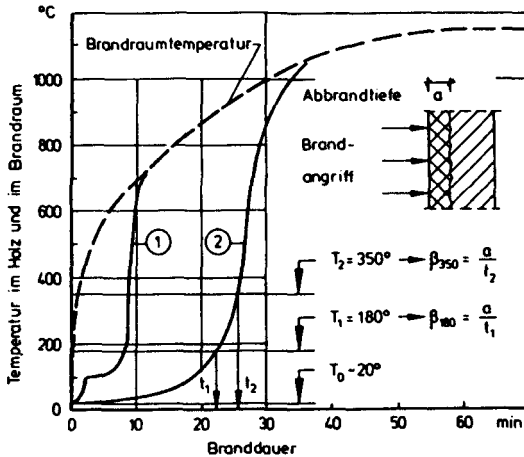


Bild 9
Beispiele für die Temperaturzeitverläufe in den untersuchten Holzbauteilen; Ermittlung der Abbrandgeschwindigkeit β bei 180 °C und 350 °C, vgl. Abschnitt 3.4.4

3.4.4 Ermittlung der Abbrandgeschwindigkeit β

Aus den Temperaturzeitverläufen wurde die Abbrandgeschwindigkeit β ermittelt, vgl. Kurve ② in Bild 9. Dazu wurde die Holzüberdeckung der jeweiligen Temperaturmeßstelle im Holzbauteil der Abbrandtiefe a , wie sie üblicherweise durch Herausnehmen von Proben mit anschließendem Ablöschen und Ausmessen der verkohlten Schicht bestimmt wird, gleichgesetzt. Um bei diesem Verfahren die wahre Abbrandtiefe zu erfassen, wurden die Zeitpunkte t_1 und t_2 verwendet, bei denen die Holztemperaturen jeweils 180 °C und 350 °C betrugen. Die Differenz ($t_2 - t_1$) betrug in der Regel ≤ 5 Min., vgl. Bilder 10 und 11. Die Temperaturen $T_1 = 180$ °C und $T_2 = 350$ °C wurden verwendet, weil sie aufgrund früherer eigener Versuche und der Verwendung im internationalen Bereich als sinnvoll erschienen.

Aus der Steigung der Kurven wurde die Abbrandgeschwindigkeit β bestimmt, wobei für die Auswertungen linearisierte Kurven - d.h. Geraden - gewählt wurden.

Wegen des Abfallens von Spanplattenschichten ergaben sich meistens zwei Abbrandgeschwindigkeiten - nämlich

$B_{0'-20'}$ = in den ersten 20 Minuten festgestellte Abbrandgeschwindigkeit und

$B_{20'-30'}$ = in der letzten Prüfphase (> 20 Minuten) festgestellte Abbrandgeschwindigkeit; sie bezieht sich meist auf den Zeitraum zwischen 20 Minuten und 30 Minuten, vgl. Bilder 10 und 11.

Bei den massigeren Holzbalken (Versuche 11 - 13) konnte die Abbrandgeschwindigkeit über einen längeren Zeitraum festgestellt werden. Die Abbrandgeschwindigkeit wurde dabei in der Regel aus der Steigung nur einer Geraden - entsprechend den linearisierten Kurvenverläufen - bis etwa 90 Min. Prüfdauer ermittelt $\rightarrow B_{0'-90'}$ (vgl. Bild 12).

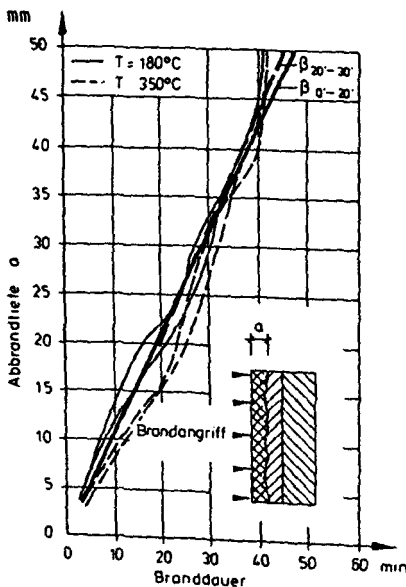


Bild 10 Versuch 6

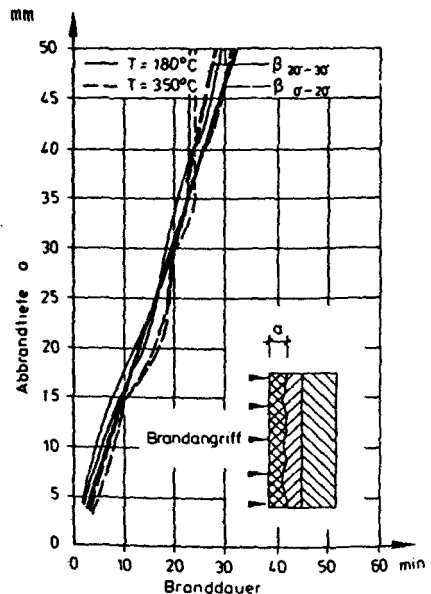


Bild 11 Versuch 9

Bild 10 und 11 Abbrandtiefe $a = f(t)$ für t_1 mit $T_1 = 180^\circ\text{C}$ und t_2 mit $T_2 = 350^\circ\text{C}$ mit linearisierten Mittelwerten
Abbrandgeschwindigkeiten $B_{0'-20'}$ und $B_{20'-30'}$

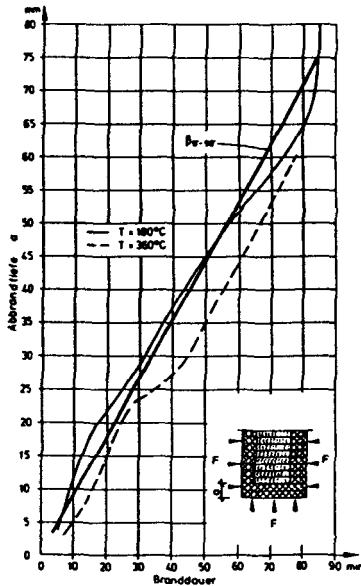


Bild 12
Versuch 13, unterer Abbrand
Abbrandtiefe $a = f(t)$ mit lineari-
sierten Mittelwerten; Abbrandge-
schwindigkeit $\beta_{0'-90'}$

3.4.5 Vergleich der Abbrandgeschwindigkeiten

Der Vergleich der Abbrandgeschwindigkeiten, wie sie in den Kleinversuchen festgestellt wurden, zeigt folgendes:

- Die Abbrandgeschwindigkeit a/t_1 entsprach der Abbrandgeschwindigkeit a/t_2 . Das heißt, daß es gleichgültig war, ob die Bestimmung der Abbrandgeschwindigkeit bei $T_1 = 180^\circ\text{C}$ oder $T_2 = 350^\circ\text{C}$ erfolgte.
- Die Abbrandgeschwindigkeit β war bei den hier durchgeführten Kleinversuchen mit zusammengesetzten Spanplatten in den ersten 20 Minuten ($\beta_{0'-20'}$) kleiner als in den folgenden Prüfminuten. Die mit $\beta_{20'-30'}$ bezeichnete Abbrandgeschwindigkeit für Prüfzeiten > 20 Minuten war bei kleiner Fremdbrandlast etwa $0,2\text{ mm/min}$ und bei großer Fremdbrandlast q_2 etwa $0,4\text{ mm/min}$ größer als $\beta_{0'-20'}$, vgl. Bild 13.

Da dieser Unterschied bei den β -Werten der Holzbalken und Holzbohlen (Versuche 11 - 13) nicht auftrat, wird gefolgert, daß die Differenzen auf dem Abfallen von Spanplattenschichten der zusammengesetzten Probekörper beruhen. Die größere Abbrandgeschwindigkeit $\beta_{20'-30'}$ wird in den folgenden Vergleichen daher nicht mehr herangezogen.

- c) Die Abbrandgeschwindigkeit $\beta_{0',-20'}$ der seitlich angeordneten Spanplatten entsprach der Abbrandgeschwindigkeit $\beta_{0',-20'}$ der seitlich angeordneten Holzbohlen.
- d) Die Abbrandgeschwindigkeit an den Spanplatten und Holzbohlen stieg mit zunehmender Fremdbrandlast von 1,1 mm/min bei q_0 auf Werte von rd. 1,5 mm/min bei q_2 , vgl. Bild 13.
- e) Die Zugabe von Verbrennungsluft (Erhöhung des Sauerstoffgehaltes von rd. 3 % auf max. 12 % bei Versuch 10) ergab bei etwas niedrigeren Brandraumtemperaturen (vgl. Abschn. 3.4.1) eine um rd. 0,2 mm/min kleinere Abbrandgeschwindigkeit, siehe Versuche 9 und 10 in Bild 13.

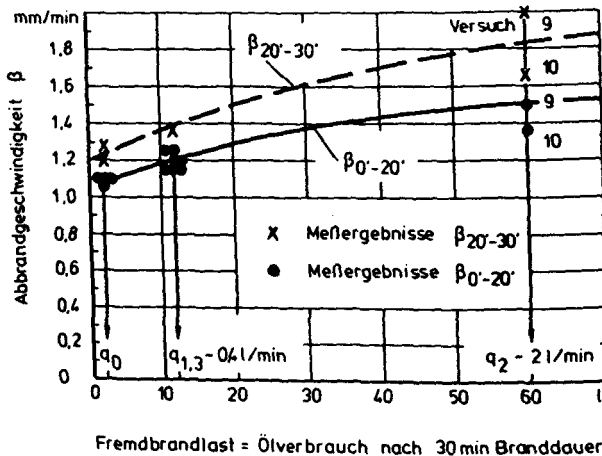


Bild 13

Abbrandgeschwindigkeit β von Fichtenholz und Spanplatten nach DIN 68 763 als Funktion der Fremdbrandlast (Ölverbrauch) bei seitlich angeordneten Prüfkörpern in Kleinversuchen nach Abschnitt 3

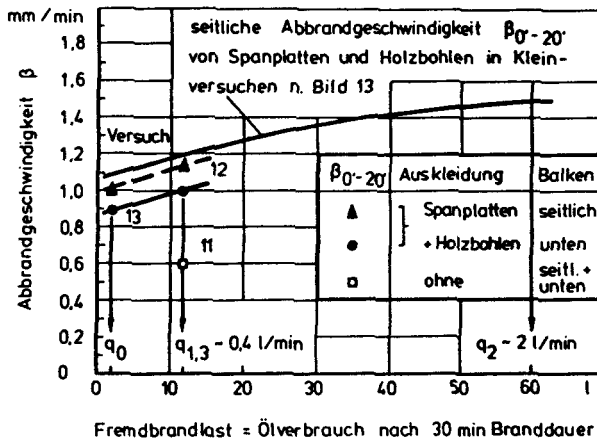


Bild 14

Abbrandgeschwindigkeit β von brett-schichtverleimten Holzbalken aus Fichtenholz als Funktion der Fremdbrandlast (Ölverbrauch) in Kleinversuchen nach Abschnitt 3 im Vergleich zur seitlichen Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen gemäß Bild 13.

- f) Bei nicht durch Spanplatten bzw. Holzbohlen ausgekleidetem Brandraum betrug die seitliche sowie untere Abbrandgeschwindigkeit unbelasteter Holzbalken im vorliegenden Kleinprüfstand 0,6 mm/min, vgl. Bild 14, Versuch 11. Das heißt: Bei relativ kleiner Eigenbrandlast und üblicher Fremdbrandlast $q_{1,3}$ war die Abbrandgeschwindigkeit unbelasteter Holzbalken kleiner als in Normprüfungen nach DIN 4102 (Brandraumgröße im allgemeinen $B \times L \times H = 2,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$) und damit auch kleiner als die in Bild 1 angegebenen vergleichbaren Rechenwerte, siehe auch [2].
- g) Wurde die Eigenbrandlast durch eine Auskleidung mit Spanplatten bzw. Holzbohlen vergrößert (Versuche 12 und 13 im Vergleich zu Versuch 11), dann stieg die Abbrandgeschwindigkeit unbelasteter Holzbalken um $\geq 0,4 \text{ mm/min}$ an, vgl. Bild 14. Die hier festgestellten Abbrandgeschwindigkeiten waren wegen des verkleinerten Brandraumes (vgl. Ab-

schn. 3.2.2) maximal 0,2 mm/min kleiner als die vergleichbaren Abbrandgeschwindigkeiten, die in den Spanplatten und Holzbohlen der Versuche 6 bis 10 sowie 12 und 13 gemessen wurden.

Die Unterschiede zwischen unterer und seitlicher Abbrandgeschwindigkeit an den Holzbalken von $\approx 0,1$ mm/min werden auf die brandraum-spezifischen Randbedingungen (Brandraumgröße, Lage der Meßstellen, Lage der Ölbrenner usw.) der hier durchgeführten Kleinversuche zurückgeführt.

h) Zusammenfassend kann zu den durchgeführten Kleinversuchen gesagt werden, daß die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen - bzw. von allen brennbaren Baustoffen, die flächig angeordnet und nicht schmelzend sind - u.a. von folgenden Einflußgrößen abhängt:

- Größe des Brandraumes,
- Lage der Ölbrenner zu den Meßquerschnitten für Bauteiltemperaturen und Abbrandtiefe,
- Größe der Fremdbrandlast (Ölzufuhr)
- Größe der Eigenbrandlast, auch bei konstanter Fremdbrandlast und
- Höhe des Sauerstoffgehaltes im Brandraum bzw. Menge der Verbrennungsluft.

Die vorstehend aufgezählten wichtigsten Parameter konnten wegen fehlender Mittel nur teilweise quantifiziert werden, vgl. Bilder 13 und 14. Dazu ist zu bemerken, daß die Prüfergebnisse zunächst nur für den hier zur Verfügung stehenden Kleinprüfstand gelten und erst nach weiteren Untersuchungen auf andere Baustoffe und Bauteile übertragbar sind, vgl. Abschnitte 4 bis 6. In jedem Fall kann aber schon jetzt gesagt werden, daß die Abbrandgeschwindigkeit von Holzbauteilen bei Brandbeanspruchungen oberhalb der ETK höher liegt als 0,7 mm/min und erst recht keinen konstanten Wert darstellt, sondern vielmehr als Funktion verschiedener Parameter anzusehen ist, siehe auch [2] und [3].

4 Großversuche

4.1 Übersicht über das Versuchsprogramm (Großversuche)

Im folgenden wird eine Übersicht über das Versuchsprogramm der Großversuche gegeben. Der Untersuchungsumfang zu den Kleinbrandversuchen ist aus Abschnitt 3 ersichtlich.

Zur Ermittlung und Quantifizierung der Einflußparameter wurden in Ergänzung und Vertiefung bestimmter Bereiche

- 1 bretttschichtverleimte Holzstütze im Prüfstand nach DIN 4102 Teil 2 unter Belastung (Bild 15, Zeile 8)
- 1 Stützenabschnitt aus der vorstehend genannten Stütze ohne Belastung (Bild 15, Zeile 9)
- 1 einseitig beflamnte (raumabschließende) tragende Holzwand (Bild 17, Zeile 3) sowie
- 1 zweiseitig beflamnte (nichtraumabschließende) tragende Holzwand (Bild 17, Zeile 5)

Jeweils einer Brandprüfung unterworfen. Die ermittelten Feuerwiderstandsdauern wurden durch Vergleichsrechnungen mit anderen Stützen und Wänden ergänzt sowie mit vorliegenden Erfahrungen und Rechnungen verglichen. Wie sich die Feuerwiderstandsdauer und Abbrandgeschwindigkeit in großen Räumen - ohne (normal) und mit Querventilation - ergeben, konnte bei den begrenzt zur Verfügung gestellten Mitteln nicht untersucht werden.

4.2 Prüfung einer tragenden Holzstütze

4.2.1 Probekörper und Prüfungsdurchführung

Zur Feststellung der Feuerwiderstandsdauer einer Holzstütze in Abhängigkeit von der Fremdbrandlast (Ölverbrauch) wurde eine bretttschichtverleimte Holzstütze aus Fichtenholz der Güteklasse I nach DIN 4074 mit einem Querschnitt von 300 mm/300 mm ausgewählt, weil

- die Feuerwiderstandsdauer einer solchen Stütze in Normversuchen nach DIN 4102 Teil 2 bekannt ist und
- der Ölverbrauch für solche Stützenquerschnitte für Normversuche sowohl für Holzstützen als auch für Stahlbetonstützen vorliegt.

Die Kennwerte der untersuchten Stütze sind in Bild 15 im Vergleich zu anderen Stützen wiedergegeben.

Die Rohdichte der untersuchten Stütze betrug 470 kg/m^3 , der Feuchtigkeitsgehalt rd. 8 Gew.-%. Die Belastung erfolgte mittig bei einer Stützenlänge von 3700 mm; die Prüflast wurde normgemäß nach Euler-Fall 2 wie folgt ermittelt:

$$s_k = 1,0 \text{ s} = 370 \text{ cm},$$

$$A = 900 \text{ cm}^2; J = 67.500 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}} = 8,66 \text{ cm},$$

$$\lambda = 370/8,66 = 42,7 \text{ cm} \rightarrow \omega \approx 1,3 \text{ und}$$

$$N = \frac{zul \sigma \cdot A}{\omega} = \frac{11.900}{1,3 \cdot 10} = 761 \text{ kN}.$$

Der Einbau der Stütze erfolgte so, daß die Stützenenden oben und unten stumpf - d.h. weitgehend verdrehungsbehindert - gegen das Belastungsgerüst gepreßt wurden. Der Einbau entsprach damit praktisch dem Euler-Fall 4. Durch die Steifigkeit des Belastungsgerüsts und den gewählten Einbau lag tatsächlich aber eine Lagerung vor, die sich zwischen den Euler-Fällen 3 und 4 befindet.

Der Prüfofen mit den Abmessungen B/L/H = 3600/3600/3600 (mm) wurde mit 6 Ölbrennern beflammt (Anlage 4). Die Fremdbrandlast (Ölzufuhr) wurde mit $q_B = 7,1 \text{ l/min}$ so gewählt, wie sie für die Normprüfung einer gleichgroßen Stahlbetonstütze erforderlich ist. Die Fremdbrandlast war damit um $1,1 \text{ l/min} \approx 18 \%$ größer als die für Normprüfungen von entsprechenden Holzstützen für die Erzeugung der ETK notwendige Fremdbrandlast von $q_H = 6,0 \text{ l/min}$ ($\approx 100 \%$), siehe Bild 15 und Anlage 4.

Für die Durchführung der Prüfung wurden im übrigen die Bestimmungen von DIN 4102 Teil 2 (9/1977) einschließlich der dabei üblichen Ventilationsbedingungen eingehalten.

Parallel zur belasteten Prüfstütze wurde ein unbelasteter Stützenabschnitt von 1 m Länge in den Prüfofen gestellt, nach 40 Minuten Branddauer herausgezogen und abgelöscht; danach wurde die Abbrandtiefe gemessen und die Abbrandgeschwindigkeit linear ermittelt, vgl. Bild 15. Das Beistellen von kleinen Stützenabschnitten ist üblich und beeinflusst nicht das Brandverhalten des eigentlichen Probekörpers (belastete Stütze).

Bild 15 Zusammenstellung der Kennwerte vergleichbarer Stützen

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zelle	Baustoff - Stütze	Querschnitt d/b	Länge l	Stoffwerte ρ_p E-Modul E	vorh.o. zul.o _g E	vorh.o. zul.o _g E	Einbau gem. Euler-Fall DIN 1053	Fremd- brandlast - Ölverbrauch	Abbrand- geschwin- digkeit	Feuerwider- standsdauer
-	-	mm/mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	-	kg/min	mm/min	min
1	Beton-Vergleichsstütze	300/300	3700	-	-	-	-	7,1 ¹⁾	-	≥ 90 ⁵⁾
2	Holz-Vergleichsstützen	300/300	3700	46	12 230	11	3 - 4	6,0 ¹⁾	0,7	87 ²⁾³⁾
3		300/300	3700	46	12 230		4	6,0 ¹⁾	0,7	89 ³⁾
4		300/300	3700	46	13 000		4	6,0 ¹⁾	0,7	≥ 90 ²⁾³⁾
5		300/300	3700	46	13 000		4	7,1	1,2	53 ³⁾
6	Holzstütze gemäß Prüfprogramm	Vergleichs- Rechnung	300/300	3700	46	12 300	3 - 4	7,1	1,2	88 ³⁾
7			300/300	3700	46	12 230	4	7,1	1,2	52 ³⁾
8			300/300	3700	46	12 230	3 - 4	7,1	nicht ermittelt	50
9			300/300	1000	46	12 230	-	8 ⁴⁾	1,1 - 1,2	- ⁴⁾

1) Fremdbrandlast zur Erzeugung der ETX
 2) Ermittelt nach (2): Feuerwiderstandsdauer gemäß Bild E.101 Euler-Fall 3 + 77'
 + Korrektur gem. Seite 178 Pkt. f) und g) + 8'
 + Korrektur für Euler-Fall 3 bis 4 statt 3 - 2'
 Feuerwiderstandsdauer + 87 min
 3) Ermittelt nach (2): Rechnung gemäß Seite 174-175
 4) Der Probekörper gemäß Zelle 9 diente nur zur Bestimmung der Abbrandgeschwindigkeit.
 5) Entsprechend den Randbedingungen nach DIN 4102 Teil 4.

4.2.2 Versuchsergebnisse

Die Brandraumtemperaturen erreichten bei der Fremdbrandlast $q_B = 7,1$ l/min annähernd den Temperaturzeitverlauf der Hydrocarbonkurve, vgl. Bild 6.

Die Feuerwiderstandsdauer (Zeit bis zum Bruch) betrug 50 Minuten, vgl. Bild 15, Zeile 8. Die mit dem Probekörper gemäß Bild 15 (Zeile 9) ermittelte Abbrandgeschwindigkeit lag zwischen 1,1 und 1,2 mm/min und damit rd. 43 % höher als die entsprechende Abbrandgeschwindigkeit unter ETK-Bedingungen.

Vergleichsrechnungen mit einer Abbrandgeschwindigkeit von 1,2 mm/min ergaben unter den vorliegenden Randbedingungen eine Feuerwiderstandsdauer von 50 min bis 52 min, womit das Prüfergebn bestätigt wurde, vgl. Bild 15, Zeilen 6 und 7.

Entsprechende, mehrfach abgesicherte Vergleichsrechnungen mit einer ETK-gemäßen Abbrandgeschwindigkeit von 0,7 mm/min ergaben Feuerwiderstandsdauern von 87 min bis 89 min, vgl. Bild 15, Zeilen 2 - 3.

Die mit einer Fremdbrandlast von $q_B = 7,1 \text{ l/min}$ (ETK bei Stahlbetonstützen) erzielte Feuerwiderstandsdauer der Holzstütze lag damit um 37 min \approx 43 % niedriger als die Feuerwiderstandsdauer einer ETK-beflammten Holzstütze mit 87 min \approx 100 %. Diese mehrfach ermittelte Relation (43 %) ergab sich aufgrund der Meßergebnisse der verschiedenen Versuche.

Die Abnahme der Feuerwiderstandsdauer wird noch deutlicher, wenn man die Feuerwiderstandsdauer als Funktion der Abbrandgeschwindigkeit aufträgt (Bild 16). Grundlage der dargestellten Kurve sind die in Bild 15 Zeile 3 bzw. 7 angegebenen Randbedingungen für den Euler-Fall 4.

Würde man einen nur um 770 N/mm^2 größeren E-Modul von $E = 13000 \text{ N/mm}^2$ wählen, wäre beim ETK-Versuch mit $q_H = 6,0 \text{ l/min}$ F 90 erreicht worden, vgl. Bild 15, Zeile 4. Bei $q_B = 7,1 \text{ l/min}$ (ETK-Betonstütze) werden dagegen nur rd. 53 min. erreicht (vgl. Bild 15, Zeile 5) - d.h. eine für F 90 nach DIN 4102 dimensionierte Holzstütze erreichte im vorliegenden Fall mit q_B eine Feuerwiderstandsdauer, die unter 60 min lag. Bei einer Abbrandgeschwindigkeit von 1,8 mm/min, wie sie nach den Bildern 3 - 4 im Extremfall möglich ist [3], würde nicht einmal eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min erreicht werden.

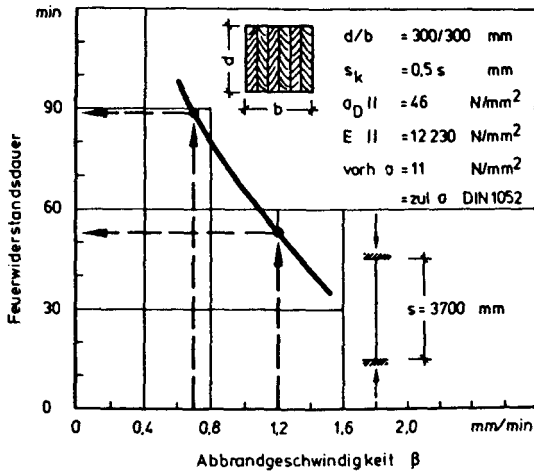


Bild 16
Feuerwiderstandsdauer
brettschichtverleimter
Holzstützen als Funk-
tion der Abbrandge-
schwindigkeit; die
Randbedingungen ent-
sprechen den Angaben
von Bild 15, Zeilen 3
und 7

4.3 Prüfung einer tragenden, raumabschließenden Holzwand

4.3.1 Probekörper und Versuchsdurchführung

Zur Feststellung der Feuerwiderstandsdauer einer tragenden raumabschließenden Holzwand in Abhängigkeit von der Fremdbrandlast (Ölverbrauch) wurde eine Wand aus Holztafeln der Feuerwiderstandsklasse F 60 gemäß DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 48, Zeile 6 ausgewählt, weil

- die Feuerwiderstandsdauer einer solchen Wand bekannt ist,
- solche Wände z.B. in Nordrhein-Westfalen als Wohnungstrennwände erlaubt sind und
- der Ölverbrauch für raumabschließende Wände für Normversuche sowohl für Holzwände als auch für Stahlbetonwände vorliegt.

Die Kennwerte der untersuchten Wand sind in Bild 17 im Vergleich zu anderen Wänden wiedergegeben, vgl. Zeilen 1 bis 3.

Als Dämmschicht kamen Steinfaserplatten der Firma Deutsche Rockwool der Baustoffklasse A 1 gemäß PA-III 4.29 mit $d = 40$ mm zum Einsatz, die zweilagig mit versetzten Stößen durch Stauchung stramm in das Holzfachwerk eingepaßt wurden.

Der Probekörper mit den Abmessungen $B/H = 3000/3000$ mm wurde als raumabschließende Wand vor einem Wandprüfstand errichtet und mittig so belastet, daß die Holzrippen ohne Berücksichtigung der Beplankung eine Spannung von $\sigma_{D\perp} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ aufwiesen.

Der Prüfofen mit den Abmessungen $B/T/H = 4000/1500/3500$ mm wurde mit 3 Ölbrennern beflammt (Anlage 4). Die Fremdbrandlast (Ölzufuhr) wurde mit $q_B = 3,2 \text{ l/min}$ so gewählt, wie sie für die Normprüfung einer gleichgroßen Stahlbetonwand erforderlich ist. Die Öl-Fremdbrandlast war damit um $1,8 \text{ l/min} \approx 23 \%$ größer als die für Normprüfungen von entsprechenden Holzwänden für die Erzeugung der ETK notwendige Fremdbrandlast von $q_H = 1,4 \text{ l/min} (\approx 100 \%)$, vgl. Bild 17.

In der Ofenlängsachse war mittig noch eine $1500/2700$ mm große Holzwand für die Prüfung einer zweiseitig beflamten Wand angeordnet; sie wirkte als zusätzliche Brandlast, wobei im Gegensatz zu dem zusätzlich mitgeprüften Stützenabschnitt (vgl. Abschnitt 4.2.1) dadurch eine Beeinflussung der raumabschließenden Wand nicht ausgeschlossen werden kann. Über das Verhalten dieser Wand wird in Abschnitt 4.4 weiter berichtet.

Der Druck im Prüfofen wurde bis zur 28. Minute (Versagenszeitpunkt der nicht raumabschließenden Prüfwand) entsprechend DIN 4102 Teil 2 mit (10 ± 2) Pa konstant gehalten. Danach wurde der Druck auf rd. 1 Pa abgesenkt, um die raumabschließende Prüfwand trotz der auftretenden Rauchbildung ausreichend gut beobachten zu können. Die auftretende starke Rauchentwicklung bzw. die ungünstigen Sichtverhältnisse deuten auf eine schlechte Verbrennung hin. Dies läßt darauf schließen, daß bei diesem Versuch eine gegenseitige Beeinflussung vorgelegen hat. Dabei ist unbekannt, wie groß die Beeinflussung war. Leider fehlen zu diesem Versuch Brandgasanalysen.

Für die Durchführung der Prüfung wurden im übrigen die Bestimmungen von DIN 4102 Teil 2 (9/1977) einschließlich der dabei üblichen Ventilationsbedingungen eingehalten.

Bild 17: Zusammenstellung der Kennwerte vergleichbarer Wände

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zeile	Baustoff - Wand	Konstruktions- merkmale MF = Mineralfaserplatten	Holzrippen aus Fichte mit $\rho = 480 \text{ kg/m}^3$	Beplankung aus Spanplatten mit $\rho = 620 \text{ kg/m}^3$	Dümmungsschicht gemäß DIN 4102 Teil 4 Abschnitt 4.11.5	Fremd- brandlast (Übersch- neidung)	Abbrand- geschwindig- keit	Be- flam- mung	Feuerwider- standsdauer		
			b_1/d_1	σ_{pl}	d_2	D	ρ	c/min	mm/min	-	min
1	Beton-Vergleichswand		-	-	-	-	-	3,2 1)	-	1-seitig oder 2-seitig	≥ 60 3)
2	Holz-Vergleichswand		40/80	2,5	2 x 16	80	30	1,4 1)	~ 0,85	1-seitig	70 2)
3	Probekörper						35	3,2	1,5		60
4	Holz-Vergleichswand			50/80	2,5	2 x 16	-	-	1,4 1)	~ 0,85	2-seitig
5	Probekörper	$d_1 = 2 \cdot d_2 = 144$						3,2	1,5		28

1) Fremdbrandlast zur Erzeugung der ETK
2) Ermittelt nach (2)
3) Entsprechend den Randbedingungen nach DIN 4102 Teil 4

4.3.2 Versuchsergebnisse

Die Brandraumtemperaturen lagen trotz der Fremdbrandlast $q_B = 3,2 \text{ l/min}$ und der zusätzlich eingebauten Prüf wand nach Abschnitt 4.4 überwiegend im zulässigen Toleranzbereich der ETK. Der Mittelwert aller Brandraumtemperaturmeßstellen lag nur unwesentlich höher als die ETK. Die Sicht im Brandraum war schlecht; eine Beobachtung der Prüf wand war kaum möglich. Um die Beobachtung zu verbessern, war der vorgeschriebene Druck im Brandraum in der 28. Minute auf 1 Pa gesenkt worden. Die Temperaturen erreichten danach die Temperaturen der Hydrocarbonkurve, vgl. Bild 6.

Die Feuerwiderstandsdauer betrug 40 Minuten, wobei der Verlust der Tragfähigkeit und der Verlust des Raumabschlusses durch Überschreiten von $\Delta T = 140/180 \text{ K}$ mit anschließendem Durchbrand nahezu gleichzeitig auftraten. Die Abbrandgeschwindigkeit lag auch hier rd. 43 % höher (gleicher Wert wie in den Abschnitten 4.2.2 und 4.4.2!) als die entsprechende Abbrandgeschwindigkeit unter ETK-Bedingungen, siehe auch Bild 18.

Die erzielte Feuerwiderstandsdauer der tragenden, raumabschließenden Holzwand lag damit um 30 min \approx 43 % niedriger als die Feuerwiderstandsdauer einer ETK-beflammten Holzwand mit 70 min \approx 100 %. Die Abnahme der Feuerwiderstandsdauer erreichte prozentual damit denselben Wert, wie er bei der Holzstütze nach Abschnitt 4.2 und der nicht raumabschließenden Holzwand nach Abschnitt 4.4 ermittelt wurde.

Die in DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 48, Zeile 6, mit F 60 klassifizierte Wand erreichte bei der beschriebenen Fremdbrandlast damit nur eine Feuerwiderstandsdauer von 40 min.

4.4 Prüfung einer tragenden, nichtraumabschließenden Holzwand

4.4.1 Probekörper und Versuchsdurchführung

Zur Feststellung der Feuerwiderstandsdauer einer tragenden, nichtraumabschließenden Holzwand in Abhängigkeit von der Fremdbrandlast (Ölverbrauch) wurde eine Wand aus Holztafeln der Feuerwiderstandsklasse F 30 gemäß DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 47, Zeile 1, mit $d_2 = 2 \times 16$ mm dicken Spanplatten ausgewählt, weil

- die Feuerwiderstandsdauer einer solchen Wand bekannt ist,
- die ausgewählte Konstruktion mit einer Beplankung von 2×16 mm der Konstruktion der raumabschließenden F 60-Wand (vgl. Abschnitt 4.3) weitgehend entspricht,
- derartige tragende F 30-Wände als zweiseitig beflammte Wände im Fertigteilbau vorkommen können und
- der Ölverbrauch für nichtraumabschließende Wände für Normversuche sowohl für Holzwände als auch für Stahlbetonwände vorliegt.

Die Kennwerte der untersuchten Wand sind in Bild 17 im Vergleich zu anderen Wänden wiedergegeben, vgl. Zeilen 4 und 5.

Der Probekörper mit den Abmessungen $B/H = 1500/2700$ mm und einer beidseitigen Beplankung aus jeweils 2×16 mm Spanplatten wurde in denselben

Prüfstand eingebaut wie er für die Prüfung der raumabschließenden Wand nach Abschnitt 4.3 verwendet wurde. Der Probekörper wurde mittig in der Ofenlängsachse errichtet und mit einem von der raumabschließenden Prüfwand getrennten Pressensystem so belastet, daß die Holzrippen ohne Berücksichtigung der Beplankung eine Spannung von ebenfalls $\sigma_{D\perp} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ aufwiesen.

Der Probekörper wurde, um Mittel einzusparen, zusammen mit der raumabschließenden Holzwand geprüft. Die Ölzufuhr betrug $q_B = 3,2 \text{ l/min}$. Wegen der übrigen Randbedingungen siehe Bild 17 und die entsprechenden Angaben in Abschnitt 4.3.1. Hinsichtlich einer möglichen gegenseitigen Beeinflussung des Abbrandes der Wände siehe ebenfalls Abschnitt 4.3.1.

4.4.2 Versuchsergebnisse

Die Brandraumtemperaturen wurden in Abschnitt 4.3.2 behandelt. Die Feuerwiderstandsdauer (Zeit bis zum Verlust der Tragfähigkeit) betrug 28 Minuten, die Abbrandgeschwindigkeit lag, wie bei den übrigen Versuchen auch hier, rd. 43 % höher als die entsprechende unter ETK-Bedingungen.

In DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 47, Zeile 1, wird bestimmt, daß die Beplankung einer nichtraumabschließenden Wand aus Holztafeln mindestens 25 mm oder 2 x 16 mm betragen muß. Die in [2] für eine derartige Wand angegebene Feuerwiderstandsdauer mit $(38 \pm 4) \text{ min}$ bezieht sich auf die einlagige, 25 mm dicke Beplankung. Die entsprechende Feuerwiderstandszeit für Wände mit beidseitig 2 x 16 mm dicker Beplankung beträgt nach [2] $(49 +4/-10) \text{ min}$. Bezieht man die mit der angegebenen Fremdbrandlast erzielte Feuerwiderstandsdauer von 28 min auf diesen 49-Minuten-Wert, der auch in Bild 17 angegeben ist, dann ergibt sich auch hier wie in den Versuchen nach den Abschnitten 4.2 und 4.3 wieder ein Abfall von rd. 43 %.

5 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse aus Klein- und Großversuchen

Bauteile werden zur Feststellung ihrer Feuerwiderstandsdauer und -klasse nach DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 1977, unabhängig von der Verwendung brennbarer oder nichtbrennbarer Baustoffe einer Temperaturzeitbeanspruchung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) unterzogen. Bauteile aus brennbaren Baustoffen werden hinsichtlich der im Prüfofen zugeführten Fremdbrandlast aus Öl dabei geringer beansprucht als Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen, da sich die Gesamtbrandlast zur Erzeugung der ETK aus der Fremdbrandlast aus Öl und der Eigenbrandlast der brennbaren Baustoffe (Bauteile und Bekleidungen/Bauteiloberflächen, vgl. Abschnitt 1) zusammensetzt:

$$q_{\text{gesamt}} = \text{Fremdbrandlast} + \text{Eigenbrandlast}$$

Geht man im Widerspruch zur bestehenden Prüfnorm mit ihrem nur temperaturabhängig definierten ETK-Brand vor und beansprucht ein Bauteil aus brennbaren Baustoffen mit einer bestimmten Fremdbrandlast, so kann sich bei derartigen Bauteilen eine Feuerwiderstandsdauer ergeben, die wesentlich kleiner ist als die unter Normbedingungen (ETK) festgestellte. Wählt man bei der Prüfung von Holzbauteilen z.B. eine Fremdbrandlast in der Größe wie sie zur Erzeugung der ETK bei der Prüfung von Stahlbetonbauteilen aus Normalbeton erforderlich ist, dann erhält man unter den bei den beschriebenen Untersuchungen vorgegebenen Randbedingungen infolge der Eigenbrandlast

- im allgemeinen eine Temperaturzeitbeanspruchung > ETK,
- eine größere Abbrandgeschwindigkeit und daraus folgend
- eine kleinere Feuerwiderstandsdauer und ggf. auch -klasse.

Um den Einfluß der Brandlast auf das Brandverhalten - insbesondere auf die Abbrandgeschwindigkeit - von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen studieren zu können, wurden 13 Kleinversuche unter Verwendung von Spanplatten, Holzbohlen und Holzbalken sowie 3 Großversuche in Anlehnung an DIN 4102 Teil 2 mit einer Holzstütze, einer raumabschließenden und einer nichtraumabschließenden Holzwand unter Verwendung einer Fremdbrandlast q_b

durchgeführt, die notwendig ist, um bei der Prüfung von entsprechenden Betonbauteilen die ETK zu erzeugen.

Mit den Kleinversuchen wurde festgestellt, daß die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen - siehe auch [2] und [3] - u.a. von folgenden Einflußgrößen abhängt:

- Größe des Brandraumes,
- Lage der Ölbrenner zu den Meßquerschnitten für Bauteiltemperaturen und Abbrandtiefe,
- Größe der Fremdbrandlast (Ölzufuhr),
- Größe der Eigenbrandlast und
- Höhe des Sauerstoffgehaltes im Brandraum bzw. Menge der Verbrennungsluft.

Es wurde u.a. festgestellt, daß die Abbrandgeschwindigkeit unbelasteter Holzbalken - d.h. von Balken ohne Verformungseinfluß - bei verschiedenen Fremdbrandlasten jeweils um rd. 43% kleiner ist als die Abbrandgeschwindigkeit entsprechender Balken, die durch dieselben Fremdbrandlasten und zusätzlich durch eine "Eigenbrandlast" aus Wand-, Decken- und Bodenbekleidung als Spanplatten (S) und Holzbohlen (Bo) beansprucht werden.

Bei den Großversuchen wurde dieselbe Relation festgestellt. Dabei ist hervorzuheben, daß hier die "Eigenbrandlast" nur aus der "Eigenbrandlast" der tragenden Stütze selbst ohne Anordnung zusätzlicher "Eigenbrandlasten" bestand. Es wird daher gefolgert, daß die Ergebnisse der Kleinversuche sinngemäß auch auf die Großversuche übertragen werden können, zumal bei den Kleinbrandversuchen 1 - 3 (q_1 ohne Holz) die nach ISO 834 vorgeschriebenen Sauerstoffgehalte der Verbrennungsluft im Prüfofen wie bei den Großversuchen eingehalten wurden, vgl. Abschnitt 3.4.2.

Aus der mehrfach ermittelten Relation von 43 % darf nicht geschlossen werden, daß dies eine neue Konstante sei, die auch für die Feuerwiderstandsdauer gilt vgl. Bild 18. Die Veränderung ist abhängig von der Größe der Eigenbrandlast. Sie gilt für den vorliegenden Fall und damit nur für die geprüfte Relation entsprechend der Eigenbrandlast q_B und q_H .

Die Zusammenfassung der wichtigsten Prüfergebnisse enthält Bild 18.

Bild 18 Zusammenfassung der wichtigsten Prüfergebnisse aus Groß- und Kleinversuchen

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zelle	Versuchs- art	Nr. bzw. Abschnitt	Bauteil	Fremdbrandlast B = Betonbauteil H = Holzbauteil	Eigenbrandlast B = Holzbauteil St = Holzstütze W = Holzwand Bo = Holzbohlen S = Spanplatten	Brandraum- temperaturen 2)	Abbrand- geschwindigkeit A	Feuerwider- standsdauer			
-	-	-	-	-	l/min	-	-	mm/min	s	min	s
1	Klein- versuche	3	Betondecke 1)	$q_{b,1.3}$	0,4	B	ETK	-	-	-	-
2		4-5	Betondecke 1)	q_2	2,0	B	Hdc	-	-	-	-
3		11	Holzbauteil	$q_{1.3}$	0,4	B	ETK	0,6	57 4)	-	-
4		12	Holzbauteil	$q_{1.3}$	0,4	B + Bo + S	> ETK	1,05	100	-	-
5		(9-13) 7)	Holzbauteil	q_2	2,0	B + Bo + S	> Hdc	1,4 3)	133	-	-
6	Groß- versuche	4.1	Holzstütze	q_H	6,0	St	ETK	0,7	57 4)	87	100
7		4.1	Holzstütze	q_B	7,1	St	> ETK	1,2	100	50	57 4)
8		4.2	Holzwand W 1 5)	q_H	1,4	W 1	ETK	0,85	57 4)	70	100
9		4.2	Holzwand W 1 5)	q_B	3,2	W 1 + W 2	> ETK	1,5	100	40	57 4)
10		4.3	Holzwand W 2 6)	q_H	1,4	W 2	ETK	0,85	57 4)	49	100
11		4.3	Holzwand W 2 6)	q_B	3,2	W 2 + W 1	> ETK	1,5	100	28	57 4)

1) Brandraumabdeckung aus Gasbetonplatten.
2) ETK = Einheitsbrandtemperaturzeitkurve, Hdc = Hydrocarbondtemperaturzeitkurve, vgl. Bild 6.
3) Nach Bild 14 extrapolierter Wert.
4) Abfall gegenüber 100 s jeweils 43 s.
5) Raumabschließende Wand - Beflammung 1-seitig.
6) Nichtraumabschließende Wand - Beflammung 2-seitig.
7) Die in Zeile 5 angegebenen Werte wurden aus den Versuchen 9 - 13 abgeleitet.

6 Vergleich der Ergebnisse mit klassifizierten Bauteilen nach DIN 4102 Teil 4

Wie bereits in Abschnitt 1 ausgeführt, liegen den in DIN 4102 Teil 4 (3/1981) klassifizierten Holzbauteilen entsprechend den Prüfergebnissen von Normprüfungen (ETK) bestimmte Abbrandgeschwindigkeiten zugrunde, [2] und [4]. Sie liegen bei Bauteilen mit geringer Verformung bei $0,65 \text{ mm/min} \leq B \leq 0,8 \text{ mm/min}$ und bei Bauteilen mit großer Verformung (Unterseite von Balken und Decken- bzw. Dachschalungen) bei $B = 1,1 \text{ mm/min}$, vgl. Bild 1.

Ginge man von den beschriebenen Prüfungen aus, dann läge die Abbrandgeschwindigkeit im Größenbereich $0,9 \text{ mm/min} \leq B \leq 1,5 \text{ mm/min}$ entsprechend $B_{0'-20'}$ gemäß Abschnitt 3.4.4 (beim Kleinversuch 11 mit einem Einzelwert

bei 0,6 mm/min). Bei Bauteilen mit mehrschaligem Aufbau - z.B. bei Verwendung mehrlagig angebrachter Spanplatten oder bei Schrankwänden [1] - ergeben sich noch größere Abbrandgeschwindigkeiten; sie liegen im Bereich $1,2 \text{ mm/min} \leq B \leq 2,0 \text{ mm/min}$, vgl. $B_{20'-30'}$ in Bild 13.

Ein Vergleich der Abbrandgeschwindigkeiten $B_{0'-20'}$ der durchgeführten Kleinversuche mit der bei Holzstützen üblichen Abbrandgeschwindigkeit entsprechend DIN 4102, Teile 2 und 4, geht aus Bild 19 hervor, das die Abbrandtiefen in Abhängigkeit von der Branddauer wiedergibt.

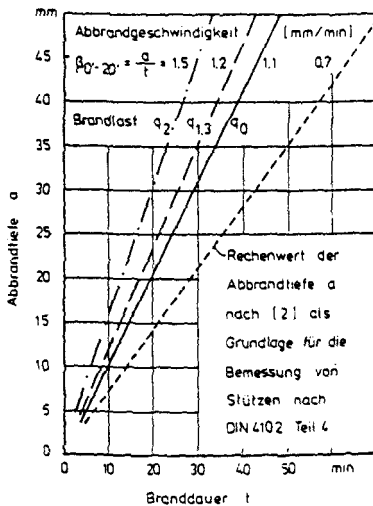


Bild 19
Abbrandgeschwindigkeit B und
Fremdbrandlasten q_0 , $q_{1.3}$ und
 q_2 in Relation zur Abbrandtiefe
 a als Funktion der Branddauer
 t

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Abbrandgeschwindigkeiten auf die Feuerwiderstandsdauer von Holzbalken und -stützen, die nach DIN 4102 Teil 4 klassifiziert sind, sind in den Bildern 20 und 21 wiedergegeben. Entsprechende Bilder für andere Bauteile wie Wände, Decken, Dächer, Zugglieder usw., die im Prinzip ähnlich zu beurteilen sind, können im Rahmen dieses Berichtes nicht vorgelegt werden. Die in den Bildern 20 und 21 dargestellten Relationen (verschiedene Abbrandgeschwindigkeiten) gelten allerdings generell, wenngleich die Relation mit 43 % + 57 % gilt natürlich nur für die hier beschriebenen Versuchsergebnisse mit q_B und q_H gilt (vgl. Abschnitt 5).

In Bild 20 ist die Feuerwiderstandsdauer von brett-schichtverleimten Holzbalken aus Fichtenholz bei 3- und 4-seitiger Brandbeanspruchung für ein Seitenverhältnis $h/b = 2$ und eine Biegespannung von $\sigma_B = 11 \text{ N/mm}^2$ dargestellt. Die jeweils obere Gerade entspricht den Geraden der Bilder E.74 und E.75 aus [2] bei entsprechenden Randbedingungen; sie ergibt bei 30, 60 und 90 min die jeweiligen Mindestbreiten von Holzbalken aus Brett-schichtholz für F 30, F 60 und F 90, wie sie in DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 62, und [2] angegeben sind. Diesen "Normgeraden" liegen entsprechend Bild 1 folgende Abbrandgeschwindigkeiten zugrunde:

Untere Seite: $\beta_u = 1,1 \text{ mm/min}$

Übrige Seiten: $\beta_s = 0,8 \text{ mm/min}$.

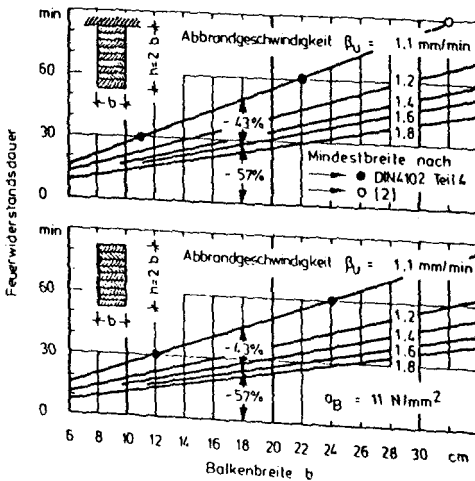


Bild 20
Feuerwiderstandsdauer von
brett-schichtverleimten
Holzbalken aus Fichtenholz
mit $h/b = 2$ bei einer Bie-
gespannung $\sigma_B = 11 \text{ N/mm}^2$ in
Abhängigkeit von der Bal-
kenbreite b und der Ab-
brandgeschwindigkeit β

Um den Rechenaufwand klein zu halten, wurden die übrigen jeweils darunter liegenden Geraden entsprechend den $\beta_{0'-20'}$ -Werten von Bild 14 mit einer Abbrandgeschwindigkeit von $1,2 \text{ mm/min} \leq (\beta_u = \beta_s) \leq 1,8 \text{ mm/min}$ ermittelt.

In Bild 21 ist die Feuerwiderstandsdauer von brett-schichtverleimten, quadratischen Stützen aus Fichtenholz mit den Stoffwerten $E = 11.000 \text{ N/mm}^2$ und $\sigma_{D\parallel} = 46 \text{ N/mm}^2$ bei 4-seitiger Brandbeanspruchung für eine Knickspannung $\sigma_{\omega} = 11 \text{ N/mm}^2$ angegeben. Als weitere Randbedingungen gelten: Euler-Fall 3 und $s = 3,0 \text{ m}$. Die obere Gerade entspricht der Geraden von Bild E.101 aus [2] bei entsprechenden Randbedingungen; sie ergibt bei 30, 60 und 90 min die jeweiligen Mindestdicken von Holzstützen aus Brett-schichtholz für F 30, F 60 und F 90, wie sie in DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabellen 66 und 67, sowie in [2] angegeben sind. Dieser "Normgeraden" eines vereinfachten Traglastdiagramms liegt die Abbrandgeschwindigkeit $\beta = 0,7 \text{ mm/min}$ zugrunde, vgl. Bild 1.

Die übrigen darunter liegenden Geraden wurden systematisch für eine Abbrandgeschwindigkeit $0,8 \text{ mm/min} \leq \beta \leq 1,5 \text{ mm/min}$ ermittelt. Bei der Geraden mit $\beta = 1,2 \text{ mm/min}$ ist gegenüber der obersten "Normgeraden" mit $\beta = 0,7 \text{ mm/min}$ der schon beschriebene Abfall der Feuerwiderstandsdauer um 43 % von 100 % auf jeweils 57 % ablesbar, vgl. auch Bilder 18 und 20, der - wie schon gesagt - nur für die hier untersuchte Relation mit q_{β} und q_H gilt, vgl. Abschnitt 5.

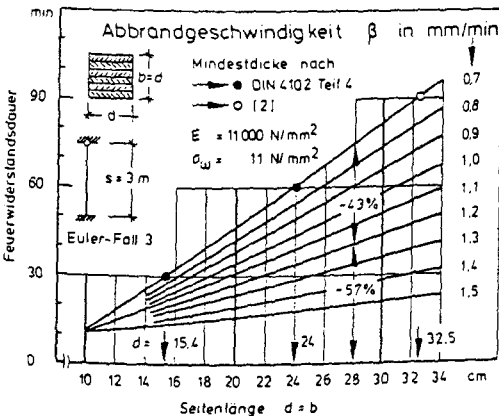


Bild 21
 Feuerwiderstandsdauer von
 brett-schichtverleimten
 Holzstützen aus Fichten-
 holz in Abhängigkeit von
 der Stützendicke d und der
 Abbrandgeschwindigkeit β

7 Vergleich der Ergebnisse mit natürlichen Bränden

Die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen bei natürlichen Bränden ist u.a. abhängig von

- der Brandlast q (MJ) bzw.
- der auf die Gesamtfläche des Brandraumes A_t bezogenen Brandlast q_t (MJ/m^2) und
- dem Öffnungsfaktor $F = A/h/A_t$ mit
- A = Gesamtfläche aller Öffnungen in Wänden (m^2),
- A_t = Gesamtfläche des Brandraumes einschließlich aller Öffnungen (m^2),
- h = gewertete mittlere Höhe aller Wandöffnungen (m).

Nach Sven Hadvig [3] liegt die Abbrandgeschwindigkeit für übliche Öffnungsfaktoren von

- $\approx 0,02 \text{ m}^{\frac{1}{2}}$ für minimal belüftete Räume bis
- $\approx 0,30 \text{ m}^{\frac{1}{2}}$ für maximal belüftete Räume

bei beweglichen Brandlasten q_t - d.h. bei Fremdbrandlasten - von

- < $200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (übliche Brandlast in Wohngebäuden),
- $\approx (200 \text{ bis } 700) \text{ MJ}/\text{m}^2$ (höhere Brandlast, z.T. auch in Wohngebäuden),
- > $700 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (große Brandlast) bis
- > $3000 \text{ MJ}/\text{m}^2$ (sehr große Brandlast, z.B. in Lagergebäuden)

zwischen $0,4 \text{ mm}/\text{min}$ und $1,8 \text{ mm}/\text{min}$. Dabei wurde der Einfluß einer Eigenbrandlast nicht genauer untersucht - d.h.: Die in den Bildern 2 bis 4 angegebenen Brandlasten sind Gesamtbrandlasten q_t ohne Differenzierung in Fremd- und Eigenbrandlasten. Die Ergebnisse nach [3] zeigen deutlich, daß die Abbrandgeschwindigkeit von Holz und Holzwerkstoffen in natürlichen Bränden sehr viel größer als in ETK-gesteuerten "Normbränden" sein kann. Die Geraden in Bild 4 zeigen weiter, daß u.a. Holzstützen im Normbrand zu günstig beurteilt werden ($\beta_{\text{nat.Brand}} \gg \beta_{\text{ETK}}$ = vereinbarter Wert von $0,7 \text{ mm}/\text{min}$); sie sollen daher im folgenden weiter untersucht werden, wobei die vorstehenden allgemeinen Angaben im Prinzip nur deshalb gemacht

wurden, damit die folgenden Angaben und Zusammenhänge besser verstanden werden.

In probabilistischen Sicherheitsbetrachtungen ist der Sicherheitsindex β eine direkte Maßzahl zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit - d.h. je kleiner β ist, umso größer ist die Versagenswahrscheinlichkeit. Er wurde in umfangreichen Computerrechnungen für verschiedene Basisvariablen von Holzstützen (Festigkeit, E-Modul, Abbrand, Belastung usw.) in Abhängigkeit vom Öffnungsfaktor und der Gesamtbrandlast q_t für Verhältnisse des Wohnungsbaus ermittelt [6].

Dabei wurden Stützen mit bestimmten Eckwerten d , b und σ für 30 min und 60 min Feuerwiderstandsdauer gemäß DIN 4102 Teil 4 (3/1981) untersucht. Als Vergleich sollen hier die Ergebnisse der in Bild 22 charakterisierten Stützen betrachtet werden. Der Sicherheitsindex β ist in Bild 23 als Funktion des Öffnungsfaktors F und der Gesamtbrandlast q_t dargestellt.

Bild 22

Mindestdicke quadratischer, brett-schicht-erleimter Holzstützen aus Nadelholz mit $E = 11.000 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma_{D||} = 42 \text{ N/mm}^2$) für eine Lagerung gemäß Euler-Fall 2 ($s_k = 1,0 \text{ s}$)

Feuerwiderstandsdauer gemäß ETK-Brand	Knicklänge = Stützenlänge $s_k = 1,0 \text{ s}$	Knickspannung gemäß DIN 1052 $\sigma_w = \frac{\omega \cdot N}{b \cdot d}$	Mindestdicke d gemäß DIN 4102 Teil 4 (3/81) 2)
min	m	N/mm^2	mm
30	2,0	11 1)	160
60	2,0	11 1)	240 3)

1) Max zulö für Güteklasse I DIN 4074
 2) Vgl. DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabellen 66 und 67, jeweils Zeile 1
 3) Dieser Mindestwert gilt auch für $s = 3,0 \text{ m}$ bei Lagerung nach Euler-Fall 3 oder 4, vgl. DIN 4102 Teil 4 (3/1981), Tabelle 67, Zeile 1.

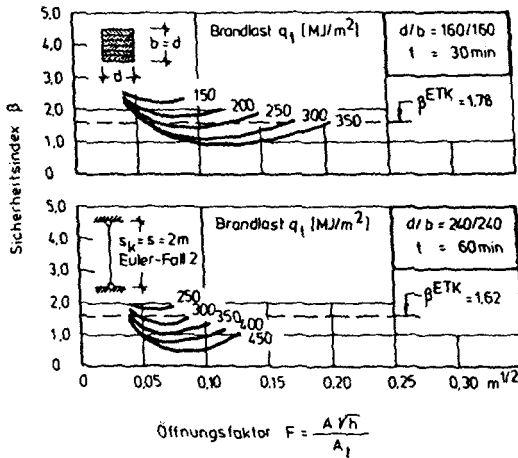


Bild 23
Sicherheitsindex β von Holzstützen gem. Bild 22 als Funktion von Öffnungsfaktor F und Brandlast q_t bei natürlichen Bränden nach [6]

Die Darstellung in Bild 23 zeigt u.a. folgendes:

- Der Sicherheitsindex β_{ETK} der untersuchten Stützen liegt für ETK-Brände bei 1,78 (oberes Diagramm) und 1,62 (unteres Diagramm). Die geringfügigen Abweichungen zwischen den beiden Werten beruhen auf Rundungen und Vereinfachungen gemäß DIN 4102 Teil 4 und können hier vernachlässigt werden.
- Der Sicherheitsindex β bei natürlichen Bränden sinkt zunächst und steigt dann mit größer werdendem Öffnungsfaktor wieder an; die Ausgangswerte bei 0,04 $m^{1/2}$ werden jedoch nicht wieder erreicht.
- Der Sicherheitsindex β sinkt mit steigender Brandlast q_t . Ein Unterschreiten von β_{ETK} erfolgt bei $q_t > \text{rd. } 200 \text{ MJ/m}^2$ (oberes Diagramm) bzw. bei $q_t > \text{rd. } 270 \text{ MJ/m}^2$ (unteres Diagramm). Das Absinken des Sicherheitsniveaus ist beachtlich und mit den Ergebnissen der Abschnitte 3 - 5 vergleichbar.

- d) Die β -Kurven enden jeweils auf der rechten Seite, weil die Rechnungen hier abgebrochen wurden und nur das Absinken des Sicherheitsindex deutlich gemacht werden sollte; das Enden auf der rechten Seite auch deshalb, weil der maximale Abbrand erreicht wurde und ein Fortschreiten des Abbrandes und des Brandes überhaupt nicht mehr gegeben war, vgl. Abschnitt 1 Bilder 2 und 3.

Betrachtet man einen Raum mit der Grundfläche $B \times L = 4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ und der Höhe $H = 3 \text{ m}$, dann beträgt die Gesamtfläche des Brandraumes $A_t = 80 \text{ m}^2$. Geht man von Wand-, Decken- und Fußboden-Bepflankungen mit Spanplatten mit $d = 2 \times 16 \text{ mm}$ entsprechend der Abschnitte 4.3 und 4.4 aus, dann beträgt die Brandlast allein aus dieser Bepflankung bzw. Bekleidung mit einer Rohdichte $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ und einem Heizwert $H_U = 4,8 \text{ kWh/kg} \approx 17,28 \text{ MJ/kg}$:

$$q \approx 80 \cdot 0,032 \cdot 600 \cdot 17,28 = 26.543 \text{ MJ}$$

Bezogen auf die Flächen ergeben sich Brandlasten von

$$\begin{aligned} q_{\text{Grundfläche}} &= 1.659 \text{ MJ/m}^2 \quad \text{und} \\ q_t &= 332 \text{ MJ/m}^2 \end{aligned}$$

Ein Brandraum, z.B. ein Wohnraum mit Wohnungstrennwand nach Abschnitt 4.3 - d.h. mit einer Bepflankung aus $2 \times 16 \text{ mm}$ dicken Spanplatten -, besitzt damit ohne Berücksichtigung der Holzunterkonstruktion aus Holzrippen, Holzbalken usw. bereits eine Eigenbrandlast, die ohne Berücksichtigung einer Fremdbrandlast zu einem Sicherheitsindex β führt, der erheblich unterhalb des Niveaus von β^{ETK} liegt, vgl. Bild 23, sowie die Kleinversuche mit q_0 in Abschnitt 3.

Geht man im vorstehenden Beispiel von einer Fremdbrandlast von 200 MJ/m^2 bis rd. 700 MJ/m^2 aus, die in einem Raum aus nichtbrennbaren Baustoffen die ETK erzeugt, dann sinkt das Sicherheitsniveau in diesem Fall noch stärker; bei $q \approx 332 + 300$ (Mittelwert) $= 632 \text{ MJ/m}^2$ liegt der β -Wert bereits weit unterhalb der in Bild 23 jeweils angegebenen untersten Kurve.

Das Beispiel mit einer Beplankung mit 2 x 16 mm dicken Spanplatten für die Klassifizierung F 60 ist in gewissem Maße als extrem zu werten. Doch dieses Konstruktionsbeispiel entspricht DIN 4102 Teil 4 und ist z.B. nach den Vorschriften des Landes Nordrhein-Westfalen als Wohnungstrennwand erlaubt. Trotzdem kommt eine derartige Konstruktion in der Praxis kaum vor. Bei einer dünneren 1-lagigen Beplankung sind die Relationen für das Abbrandverhalten jedoch ähnlich. Bei einer praxisüblichen Beplankung bzw. Bekleidung von nur 1 x 16 mm dicken Spanplatten, die für die Klassifizierung F 30 gilt, sinkt q_f etwa auf die Hälfte. Dadurch sinkt der Sicherheitsindex β nahezu auf den β_{ETK} -Wert ab, vgl. Bild 23, oberes Diagramm. Ein Vorhaltemaß, zur Berücksichtigung der Eigenbrandlast, wäre hier bereits aufgezehrt. Die Fremdbrandlast - z.B. aus Mobiliar - führt dann allein zu einem beachtlichen Absinken unter das Sicherheitsniveau $\beta_{ETK} \approx 1,78$ im vorliegenden Beispiel. Eine Halbierung des Sicherheitsindex kann in diesem Beispiel einer Halbierung der Feuerwiderstandsdauer annähernd gleichgesetzt werden, vgl. auch mit den Ergebnissen in Abschnitt 5, Bild 18.

Die vorstehenden Beispiele gelten für ventilationsgesteuerte Brände in Räumen bzw. Gebäuden mit relativ kleinen Brandlasten, z.B. für Wohngebäude. Bei Räumen bzw. Gebäuden mit anderer Nutzung, z.B. Lagerräumen mit sehr großen Fremdbrandlasten liegen im allgemeinen wesentlich ungünstigere Verhältnisse vor; diese Gebäude sind jedoch als Bauwerke besonderer Art oder Nutzung zu betrachten und können nach der Vornorm DIN V 18 230 unter Berücksichtigung der tatsächlichen Ventilationsbedingungen und der tatsächlichen Brandlasten einschließlich der Eigenbrandlasten bemessen werden.

Ergänzend sei auf das Risikopapier [8] hingewiesen. Hier werden in Abschnitt 5.4.2 die Baustoffanforderungen an Bauteile und die damit zu erreichenden Schutzziele dargestellt. Diese Schutzziele lassen sich durch eine Unterteilung der Feuerwiderstandsklassen bzw. Benennungen in jeweils zwei Unterklassen erreichen.

Abschließend ist zu erwähnen, daß die Werte von Bild 23 exakt nur für Stützen mit $s_k = s = 2 \text{ m}$ gelten - die vergleichenden Betrachtungen jedoch mit einer Raumhöhe von 3 m durchgeführt wurden. Die Werte können sinngemäß aber auch auf Stützen mit $s = 3 \text{ m}$ übertragen werden, vgl. Fußnote 3) in Bild 22.

8 Vergleich der Ergebnisse mit Brandlasten nach DIN 4102 Teil 2

Wie aus den Abschnitten 3 bis 5 hervorgeht, ist die Fremdbrandlast, die zur Erzeugung der ETK notwendig ist, von verschiedenen Einflußgrößen abhängig, u.a. von der Größe und Art des Brandraumes sowie von der Eigenbrandlast des Prüfkörpers. Jeder Ofenprüfstand hat dabei seine eigene Charakteristik. Bei jeder Normprüfung wird eine andere Fremdbrandlast verwendet. Auch wenn die Temperatur, der Druck und der Sauerstoffgehalt im Prüfofen sowie das Ofenmauerwerk genormt sind, ergeben die Prüfungen bei einem Prüfkörper in Wiederholungsversuchen Streuungen, die noch nicht ausreichend untersucht wurden, so daß keine systematische Abhängigkeit angegeben werden kann.

Zum Vergleich der Ergebnisse der Abschnitte 3 bis 5 mit Brandlasten nach DIN 4102 Teil 2 stehen u.a. die in Espoo (Finnland) und Braunschweig festgestellten Fremdbrandlast-Werte zur Verfügung, vgl. Bilder 24 und 25.

Bild 24 zeigt eine Zusammenstellung von Zahlenwerten, die bei Prüfungen in verschiedenen Wandprüföfen festgestellt wurden. Bild 25 zeigt die finnischen Werte als Häufigkeitskurven [7]. Dabei wurden 46 Bauteile (Probekörper) aus nichtbrennbaren Baustoffen und 11 Bauteile (Probekörper) aus brennbaren Baustoffen erfaßt. Zu den Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen gehören Wände aus Beton, Mauerwerk und Stahl, wobei Angaben über die Rohdichte, Temperaturleitzahl, Feuchte usw. der Baustoffe fehlen. Der Häufigkeitsverteilung sind die Mittelwerte von Wandprüfungen in Braunschweig gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt in der Tendenz eine relativ gute Übereinstimmung.

Bild 24 Notwendige Fremdbrandlast in Form von leichtem Heizöl EL bzw. Dieselkraftstoff entsprechend DIN 4102 Teil 2 zur Erzeugung der ETK in Wandprüföfen in Espoo (Finnland) und Braunschweig

Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Zeile	Prüf-anstalt	Baustoff des Probekörpers	Fremdbrandlast = Heizöl EL oder Dieselkraftstoff (Heizwert $H_u \sim 42 \text{ MJ/kg}$)				
			min	Mittel		max	
			MJ/min	1/min 2)	MJ/min	%	MJ/min
1	Espoo	Nichtbrennbar ¹⁾	79,7	-	107,5	100	136,7
2		Holz und/oder Holzwerkstoffe	48,2	-	70,7	65	91,9
3	Braun-schweig	Normalbeton		3,2	114	100	
4		Kalksandstein		2,7	96	84	
5		Ziegel		2,5	89	78	
6		Gasbeton		2,4	86	75	
7		Holz und/oder Holzwerkstoffe	45	1,4	50	44	54

1) Beton, Mauerwerk, Stahl (ohne brennbare Bekleidungen) u.ä.
2) Rohdichte von Heizöl EL $\rho \sim 0,85 \text{ kg/l}$

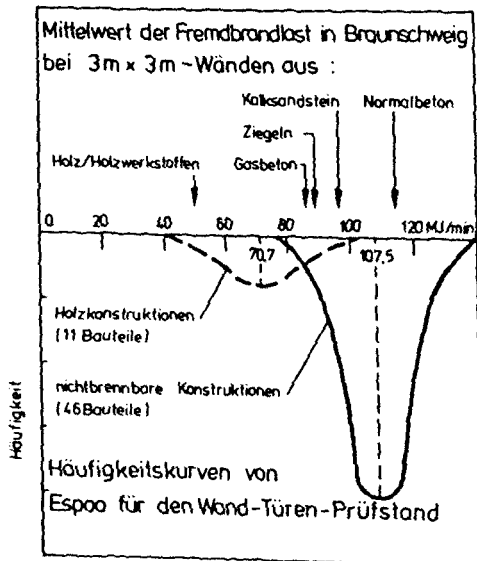


Bild 25

Vergleich der Zahlenwerte von Bild 24 in einem Häufigkeitsdiagramm. Fremdbrandlast = Brennstoffzufuhr in MJ/min. Die Häufigkeitskurven sind gerundet und vereinfacht.

Im Gegensatz zu den nichtbrennbaren Baustoffen liegen bei den brennbaren Baustoffen nach [7] nur 11 Prüfungen mit Brandlasterhebungen vor. Unter dem Begriff Holzkonstruktionen werden nicht nur Wände - überwiegend aus Holz -, sondern auch Türen aus Holz und Holzwerkstoffen erfaßt, die im Vergleich zu einer Wand mit $B/H = 3 \text{ m}/3 \text{ m}$ relativ klein sind, im allgemeinen nämlich $B/H = 1 \text{ m}/2 \text{ m}$. Der Anteil der Eigenbrandlast ist hier naturgemäß kleiner, da das umgebende Bauteil im allgemeinen aus Mauerwerk besteht; der Fremdbrandlastanteil ist daher zwangsläufig größer. Der flach verlaufenden Häufigkeitsverteilung mit gleicher Gesamtstrebweite wie bei den Wänden aus nichtbrennbaren Baustoffen sind die Fremdbrandlasten von Braunschweiger Wandprüfungen ($3 \text{ m}/3 \text{ m}$) aus Holz und Holzwerkstoffen - zum Teil mit einer Dämmung aus Mineralfasern entsprechend Bild 17 - gegenübergestellt. Diese Werte liegen wegen der Unterschiede in den Grundgesamtheiten im unteren Fremdbereich der finnischen Verteilungskurve.

Der Vergleich der Fremdbrandlasten zeigt im übrigen, daß die Differenz zwischen Fremdbrandlast bei nichtbrennbaren Bauteilen und Fremdbrandlast bei brennbaren Bauteilen bei Normprüfungen mit der ETK im Extremfall noch rd. $35 \text{ MJ/min} \approx 1 \text{ l/min}$ größer sein kann, als sie in den Abschnitten 4 bis 5 beschrieben ist.

Für andere Prüfstände (Decken, Balken, Stützen usw.) liegen ähnliche Ergebnisse vor; sie sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt werden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß der Ölverbrauch während eines Versuchsbrandes nur annähernd konstant ist; er wurde der Einfachheit halber bei der Auswertung und Berichterstattung über die vorliegenden Versuche als konstant gewertet.

Weiter ist im Zusammenhang mit den Angaben von Bild 25 noch einmal darauf hinzuweisen, daß die gefundene Prozentzahl von 43 % (vgl. Abschnitte 3 bis 6) nur für die hier untersuchte Relation von q_B und q_H gilt. Würde man statt einer Fremdbrandlast q_B eine Fremdbrandlast q_K oder q_Z wählen, wie sie für die Prüfung von Wänden aus Kalksandsteinen oder Ziegeln not-

wendig ist, würde sich die Prozentzahl kleiner ergeben. Würde man dagegen im Extremfall eine Fremdbrandlast wählen, wie sie zur Erzeugung der ETK bei einer Wand aus einer (strahlungsdurchlässigen) G-Verglasung - z.B. aus Glasbausteinen - erforderlich ist (in Bild 24/25 nicht erfaßt), so wäre der bei diesen Untersuchungen gefundene Abfall von 43 % noch wesentlich größer; mit anderen Worten: Bei der Prüfung einer Glasbausteinwand ist die notwendige Fremdbrandlast $q_G \gg q_B$, die im Vergleich zur Fremdbrandlast q_H gewählt wurde.

9 Ausblick

Normungsarbeit

Die in den Abschnitten 3 und 4 beschriebenen Brandversuche zur Untersuchung des Einflusses der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen und die daran anschließenden Vergleiche

- der Klein- und Großversuche in Abschnitt 5,
- der Ergebnisse mit klassifizierten Bauteilen nach DIN 4102 Teil 4 in Abschnitt 6,
- der Ergebnisse mit natürlichen Bränden in Abschnitt 7 und
- der Ergebnisse mit Brandlasten nach DIN 4102 Teil 2 in Abschnitt 8

zeigen, daß die Größe der vorhandenen Brandlast, bestehend aus der

- Fremdbrandlast und
 - Eigenbrandlast
(Brandlast aus brennbaren Bauteilen und Brandlast aus brennbaren Wand- und Deckenbekleidungen/Bauteiloberflächen)
- das Brandverhalten von Bauteilen beeinflussen kann. Dieser Einfluß kann sich in der Reduzierung der Feuerwiderstandsdauer von brennbaren Bauteilen (Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit) oder
- nichtbrennbaren Bauteilen (schnellere Durchwärmung)

äußern. Er ist jedoch nur dann von Bedeutung, wenn sich die Brandlasten deutlich von der Brandlast unterscheiden, die der ETK üblicherweise zugrunde liegen und ein optimaler Abbrand erfolgt, so daß Temperaturen $T \gg T_{ETK}$ erzielt werden.

Bibl. d. TU:
Brandwissenschaft

Unter Berücksichtigung der dargestellten Einflüsse ist folgende zusammenfassende Wertung möglich:

1. Wie aus zahlreichen Untersuchungen bekannt ist - siehe u.a. [9] -, deckt die ETK etwa 90 % aller natürlichen Brände im Bereich von Bauwerken der üblichen Art oder Nutzung ab.
2. Das verbleibende Risiko ist überwiegend in der Verwendung von brennbaren Bekleidungen im Wand- und Deckenbereich zu suchen und sollte durch besondere Anforderungen an die Verwendung von brennbaren Bekleidungen abgedeckt werden, siehe auch [8].

In diesem Zusammenhang ist das erhöhte Risiko einer schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen (Wand- und Deckenbekleidungen, Bauteiloberflächen) zu diskutieren und besser zu erfassen.

3. Wie nicht anders zu erwarten, ist ein Einfluß der Eigenbrandlast auf den Verlauf eines Brandversuches jedoch nachweisbar; eine Änderung der gegenwärtigen Prüfvorschriften, wie in DIN 4102 Teil 2 oder ISO 834 vorgesehen, ist aus diesem Grunde aber nicht angezeigt.

Es ist zu berücksichtigen, daß diese Prüfvorschriften das Brandverhalten von Einzelbauteilen betreffen und nicht den Brandablauf in Abhängigkeit von verschiedenen Verhältnissen im Brandraum bzw. im ganzen Brandabschnitt. Dieser hängt von einer Reihe weiterer Einflußgrößen ab, die in diesen Versuchen jedoch nicht erfaßt werden konnten. Möglicherweise lagen im Versuch im Vergleich zu wirklichen Bränden zu ungünstige Prüfbedingungen vor. Eine unmittelbare Umsetzung der vorliegenden Versuchsergebnisse auf die Prüfung von Einzelbauteilen mit Eigenbrandlast wäre somit vielleicht eine Extrapolation nach der zu vorsichtigen und daher unwirtschaftlichen Seite. Dennoch sollten die aufgezeigten tendenziellen Zusammenhänge beachtet werden.

4. Die vorgelegten Untersuchungsergebnisse sollten bei der Weiterentwicklung einiger übergeordneter Beurteilungsrichtlinien und Normen - auch bei der Weiterbearbeitung von DIN V 18 230 - herangezogen werden.

5. Auch bei den zukünftigen thematisch erweiterten Beratungen innerhalb der ISO/TC 92, in CEN TC 127 sowie im Rahmen der Brandschutz-Teile zu den Eurocodes sollten bei Fragen der Bestimmung der Brandlast die Eigenbrandlasten der Bauteile angesprochen werden. Die vorgestellten Versuchsergebnisse sind als Hinweis darauf zu bewerten, daß eine Liberalisierung der Bauordnungen in den einzelnen EG-Ländern (in der Bundesrepublik Deutschland in den einzelnen Bundesländern) hinsichtlich der Ausführbarkeit mehrgeschossiger Wohnbauten aus brennbaren Bauteilen kaum mehr vertretbar erscheinen und die bestehenden Unterschiede zwischen den Ländern nach der vorsichtigen Seite hin ausgeglichen werden sollten.
6. Bei der Diskussion über den Eurocode "Holz" sollte beachtet werden, daß die in DIN 4102 Teil 4 zugrunde gelegten Abbrandgeschwindigkeiten von Holzbauteilen, wie sie in Bild 1 dargestellt sind, nicht unterschritten werden, zumal festgestellt wurde, daß die Abbrandgeschwindigkeit sehr sensibel auf erhöhte Brandlasten und unterschiedliche Öffnungsfaktoren reagiert und zum Teil deutlich höhere Werte als in Bild 1 beschrieben festgestellt wurden.
7. Im Spiegelausschuß "Bauteile" zum KoA von DIN 4102 sollten die vorstehenden Untersuchungsergebnisse bekannt gemacht und diskutiert werden.

Weitere Maßnahmen

Zur Schaffung von einwandfreien und einheitlichen Beurteilungsgrundlagen ist es erforderlich, weitere Forschungsvorhaben durchzuführen, z.B. auf folgenden Gebieten:

- Schaffung von Grundlagen für die Festlegung von einheitlichen - in besonderen Fällen ggf. modifizierten - Sicherheitsindizes B mit Hilfe probabilistischer Rechnungen, vgl. [6]. Bei der Modifizierung der B -Werte sind ggf. Vorhaltemaße (Teilwerte) zur Abdeckung von Eigenbrandlasten zu berücksichtigen.

- Systematische Untersuchung aller Brandprüfstände hinsichtlich vergleichbarer Fremdbrandlasten sowie Darstellung der dazugehörigen Randbedingungen (Ofenmauerwerk, Ofengröße, Sauerstoffgehalt usw.).
- Schaffung von Vorschriften für den Bau und Betrieb von Versuchsöfen mit dem Ziel, die Streubreite der Prüfbedingungen und Meßergebnisse zu verkleinern.
- Durchführung weiterer Untersuchungen an Bauteilen mit brennbaren Baustoffen im Sinne der hier andiskutierten Vorgehensweise.

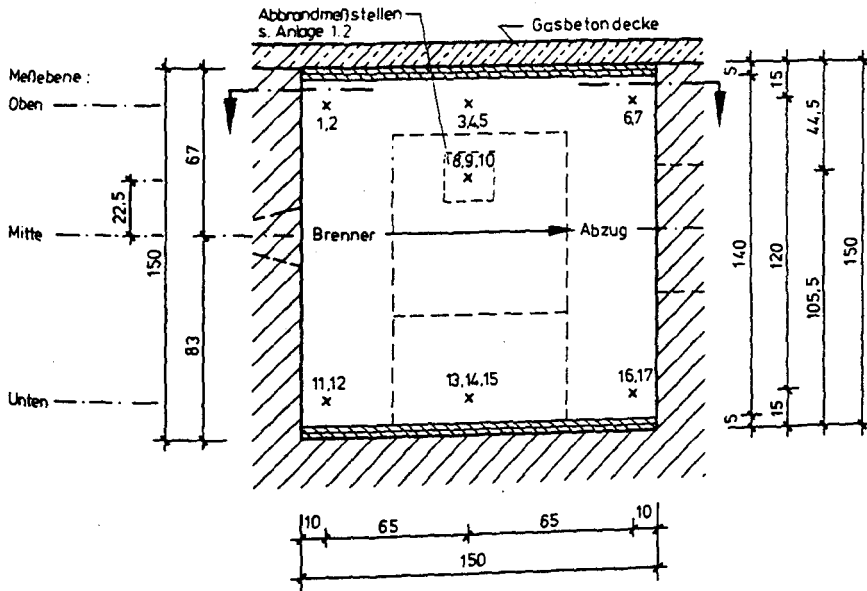
Die Durchführung derartiger Forschungsvorhaben hängt davon ab, ob Geldmittel dafür zur Verfügung gestellt werden.

10 Literaturverzeichnis

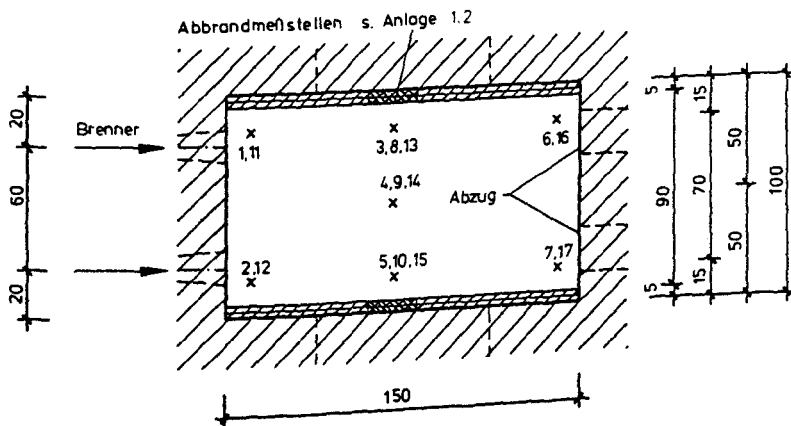
- [1] Kordina, K. und Meyer-Ottens, C.: Über den Einfluß der Brandlast auf Brandraumtemperaturen und Feuerwiderstandsdauer bei der Prüfung von Beton- und Holzwänden nach DIN 4102. Materialprüfung 11 (1969), Nr. 8.
- [2] Kordina, K. und Meyer-Ottens, C.: Holz Brandschutz Handbuch. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung. München 1983.
- [3] Hadvig, Sven: Charring of Wood in Building Fires. Technical University of Denmark, Laboratory of Heating and Air-Conditioning. Lyngby 1981.
- [4] Meyer-Ottens, C.: Baulicher Brandschutz nach neuem Bauaufsichtsrecht - Brandrisiken im Bereich von Baustoffen und Bauteilen.
 - a) Bundesbaublatt 1985, Heft 7.
 - b) VFDB-Zeitschrift 1985, Heft 3.
- [5] Revision of ISO 834-1975, Fire resistance tests- Elements of building construction, Fourth Draft. ISO TC 92 / SC 2 / WG 1 / N 236 (part 1 + 2), N 247 (part 3)
- [6] Kordina, K., Schneider, U., Henke, V. und Lubienetzki, K.-P.: Sicherheitsbetrachtung über die Normprüfung an tragenden Bauteilen im Wohnungsbau. Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens, durchgeführt am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig im Auftrage des Instituts für Bautechnik, Berlin. Braunschweig, November 1984.
- [7] Loikkanen, P.: Statistics about energy input to test furnaces of VTT in 1981 and 1982. Doc. ISO TC 92/SC2/WG1/N 192, Espoo, Finnland, Februar 1983.

- [8] Bauaufsichtliche Brandschutzanforderungen für Wohngebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung. NABau II, 34.1 Nr. 11-88
- [9] Kordina, K. und Meyer-Ottens, C.: Beton-Brandschutz-Handbuch. Beton-verlag GmbH, Düsseldorf, 1981.

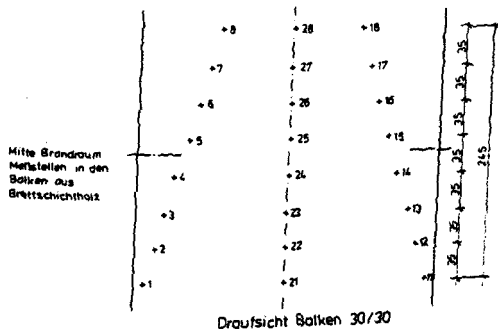
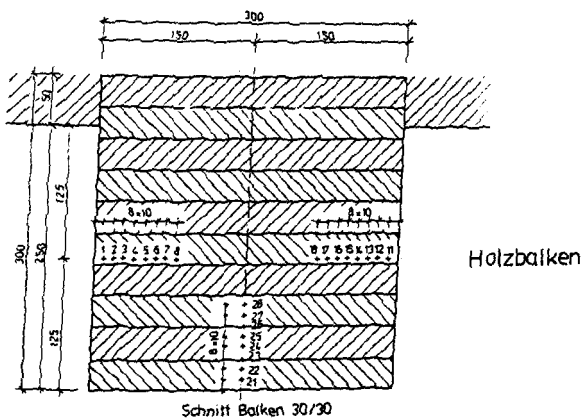
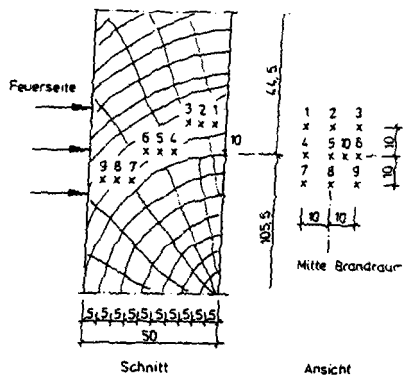
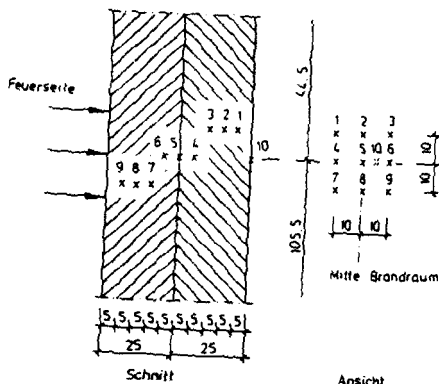
Vertikalschnitt des Ofens



Horizontalschnitt des Ofens



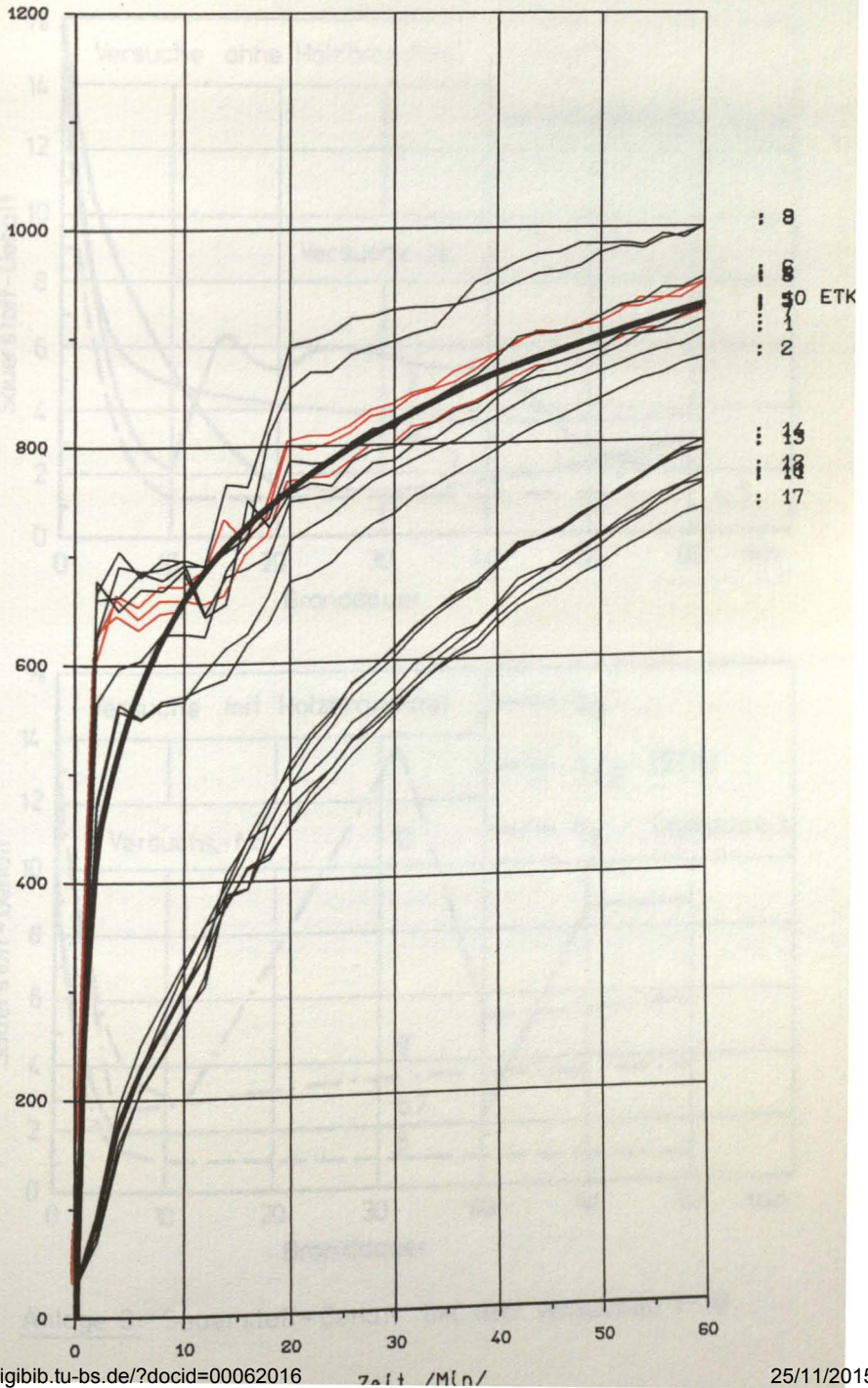
Anlage 1.1 Versuchsaufbau, Lage der Meßebeinen und Meßstellen, Vers. 1-10
Maße in cm

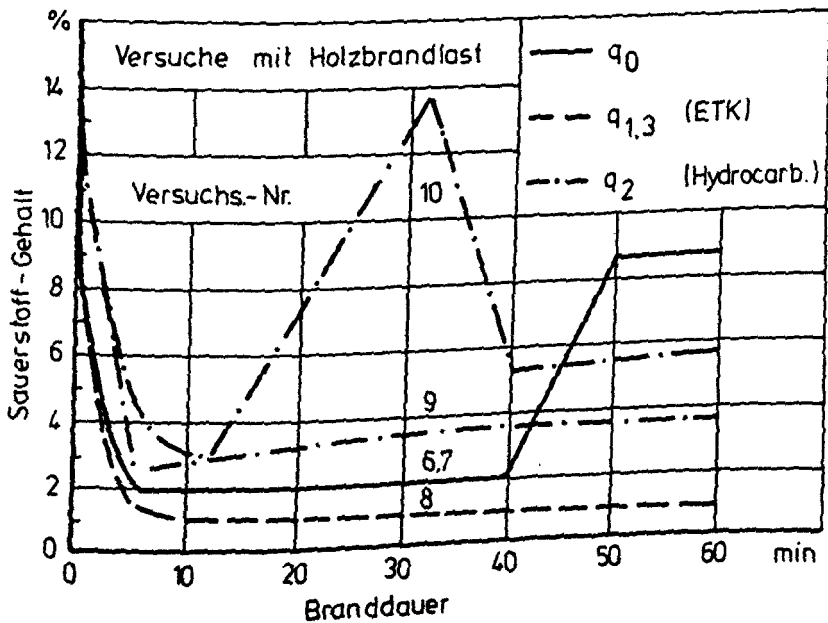
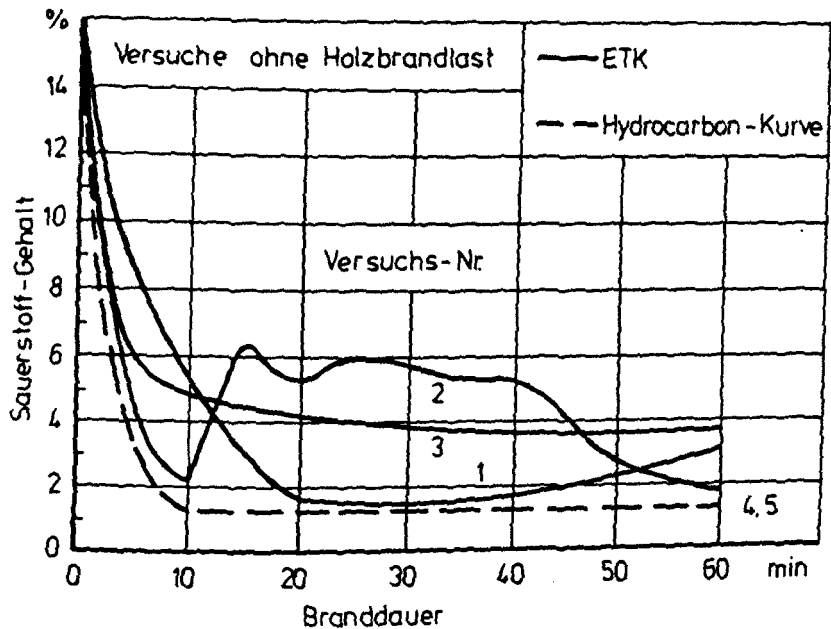


Anlage 1.2: Lage der Meßstellen

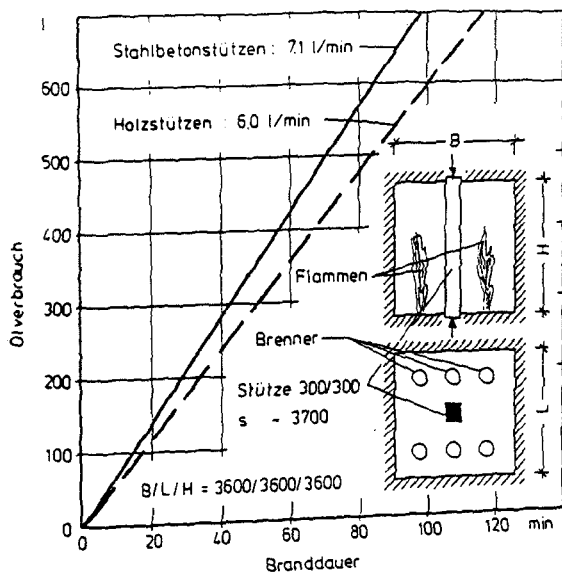
Anlage 2 Versuch 3, Mst. 1-17

Temperatur in Grad Celsius

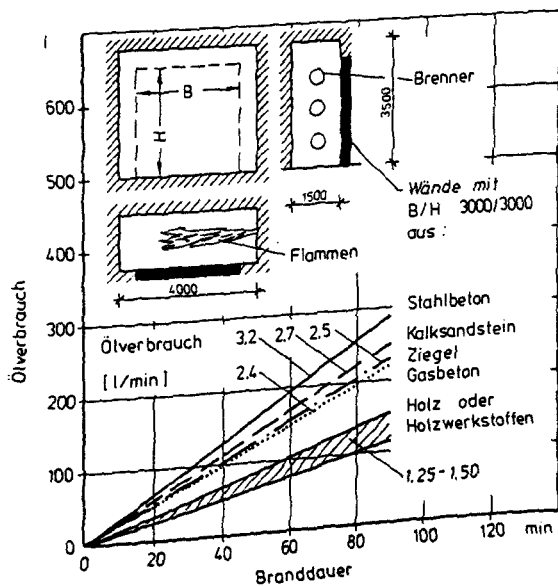




Anlage 3: Sauerstoff-Gehalt bei den Versuchen 1-10



Stützenprüfstand $A_t = 77,76 \text{ m}^2$



Wandprüfstand $A_t = 50,7 \text{ m}^2$

Anlage 4: Ölmengen-Verbrauch bei den Großversuchen